ERSTELLUNGSPROZESS NEUARTIGER TECHNISCHER DOKUMENTATIONEN

Universität Ulm

Institut für Medieninformatik

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

der Fakultät für Ingenieurwissenschaften und

Informatik der Universität Ulm

vorgelegt von

Dipl.-Inf. Ingo Stock

aus Ulm

2007

Amtierender Dekan:	**Prof. Dr. Helmuth A. Partsch** Universität Ulm Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik Institut für Programmiermethodik und Compilerbau
Gutachter:	**Prof. Dr. Michael Weber** Universität Ulm Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik Institut für Medieninformatik
Gutachter:	**Prof. Dr. Franz Schweiggert** Universität Ulm Fakultät für Mathematik und Wirtschaftswissenschaften Institut für Angewandte Informationsverarbeitung
Tag der Promotion:	31. Januar 2007

Betreuer seitens der BMW Group:	**Dr. Eckhard Steinmeier** BMW Group Leiter BMW Connected Drive
	Morten Bo Jensen BMW Group Service Vorentwicklung
	Klaus Vornberger BMW Group Leiter Service Vorentwicklung

VORWORT

Diese Arbeit entstand während meiner Zeit als Doktorand bei der BMW Group in München im Bereich der Service Vorentwicklung (VS-L-1). Bedanken möchte ich mich bei all denen, die mich während der Entstehungszeit dieser Arbeit unterstützt haben und insbesondere bei:

Herrn Prof. Dr. Michael Weber für die wissenschaftliche Betreuung seitens der Universität Ulm sowie für seine Zusage, diese zu übernehmen. Er verfolgte mit Interesse das Voranschreiten meiner Arbeit. Die Gespräche mit ihm und die daraus resultierenden Denkanstöße waren sehr hilfreich und haben zum Gelingen dieser Arbeit maßgeblich beigetragen.

Herrn Prof. Dr. Franz Schweiggert für die Begutachtung und das kritische Auseinandersetzen mit meiner Arbeit.

Den Herren Dr.-Ing. Eckhard Steinmeier, Dipl.-Ing. Morten Bo Jensen und Dipl.-Ing. Klaus Vornberger für die Betreuung meiner Arbeit durch die BMW Group. Mit kreativen und motivierenden Gesprächen, Denkanstößen sowie Hilfestellungen haben sie wesentlich zur Realisierung beigetragen.

Der BMW Group für die Möglichkeit, diese Arbeit in ihrem Hause durchzuführen und so viele neue Erfahrungen sammeln zu dürfen.

Bei Frau Dipl.-Ing. Nikola Recknagel und Herrn Dipl.-Ing. Laurent Chauvigné für ihre großartige Unterstützung, Hilfsbereitschaft und gute Zusammenarbeit sowie dem gesamten Team der Service Vorentwicklung und der Abteilung VS-L unter der Leitung von Herrn Dipl.-Ing. Axel Deicke für die freundliche Aufnahme und Integration.

Nicht zuletzt möchte ich mich auch bei Herrn Dipl.-Inf. Felix Mirbeth bedanken, der mich durch die während seiner Diplomarbeit und seinem Praktikum bei der BMW Group entstandenen Ideen, Konzepte und Implementierungen großartig unterstützt hat.

München, den 21. Januar 2007

Ingo Stock

ZUSAMMENFASSUNG

Die steigende Komplexität technischer Produkte wie Automobile, Flugzeuge oder Produktionsanlagen schlägt sich auch in der dazugehörigen Dokumentation nieder. Es müssen immer mehr Informationen dargestellt und an die Anwender weitergegeben werden. Dies führt zu immer umfangreicheren Dokumenten, welche den Arbeitsprozess der Anwender teilweise nicht mehr optimal unterstützen. Aufgrund dessen werden neue Arten der Informationsbereitstellung auf ihre Einsetzbarkeit hin untersucht. Zu diesen neuartigen technischen Dokumentationen zählen unter anderem Wartungs- und Instandsetzungsanleitungen basierend auf "Augmented Reality (AR)". Diese Technologie überlagert mit Hilfe einer Datenbrille die real betrachtete Umgebung mit virtuellen Objekten und Darstellungen. Im Falle einer Reparaturanleitung sind dies vorrangig Bauteile, Werkzeuge und Pfeile. Der Anwender kann somit Schritt für Schritt durch den Ablauf einer durchzuführenden Reparatur geleitet werden, ohne dass er zuvor eine umfangreiche Anleitung lesen musste.

Eine Grundvoraussetzung für den Einsatz der AR-Technologie ist die Verfügbarkeit eines Erstellungsprozesses für neuartige technische Dokumentationen, der den neuen Rahmenbedingungen gerecht wird. Dazu zählt vor allem die Notwendigkeit einer zu hundert Prozent mit dem Produkt übereinstimmenden Anleitung, da die Informationen direkt auf das jeweilige Produkt überlagert werden. Dieser Anforderung kann der aktuelle Erstellungsprozess nicht gerecht werden. Heutige Anleitungen werden nur einmalig anhand eines Referenzproduktes erstellt und unterliegen während des gesamten Produktlebenszyklus keiner permanenten Pflege. Dem entgegen steht der hohe Grad der kundenseitigen Produktindividualisierung, welche in der Automobilindustrie besonders stark ausgeprägt ist. Jeder Kunde kann sein Fahrzeug durch die Wahl der Karosserievariante, der Motorisierung und durch Sonderausstattungen für seine Bedürfnisse konfigurieren. Deshalb dürfen sich zukünftige Anleitungen nicht mehr nur auf ein einzelnes Referenzprodukt beziehen, sondern müssen alle möglichen Kombinationen und Derivate abdecken können.

In der vorliegenden Dissertation wird ein Erstellungsprozess für neuartige technische Dokumentationen entwickelt, wobei das Ziel das optimale Zusammenwirken von Redakteur und Computer ist. Während der Redakteur das technische Wissen einbringt, übernimmt der Rechner die Erstellung der Visualisierung und die Adaption der Darstellungen auf die Realität. Den Hauptnutzen stellt dabei die mögliche Automatisierung dar, welche den Redakteur nicht ersetzen kann, ihn aber bei wiederkehrenden Arbeitsschritten aktiv unterstützt. Durch die vorgegebene Standardisierung wird zudem ein Teil der Qualitätssicherung in der Dokumentation übernommen.

Mit Hilfe einer strukturellen und inhaltlichen Modularisierung der Dokumente werden in dieser Arbeit unabhängige allgemeingültige Bausteine definiert. Diese Bausteine erlauben einen hohen Grad der Wiederverwendbarkeit der bereits erstellten Informationen sowie der Konfigurierbarkeit der Dokumente für eine Ausprägung eines Produkts. Alle Informationen werden in einem unabhängigen Dokumentenmodell gehalten, aus welchem durch Definition von verschiedenen Sichten eine anwendungsspezifische, aktuelle sowie zu hundert Prozent korrekte Dokumentation extrahiert werden kann. Aufbauend auf dem Dokumentenmodell wird eine Vorgehensweise zur Dokumentationserstellung mit Hilfe von produktspezifischen Metadaten vorgestellt, welche eine automatisierte Anpassung der Dokumente an den jeweiligen Anwendungsfall und an das jeweilige Produkt unterstützt. Die Metadaten enthalten

beispielsweise Informationen zur Befestigung eines Bauteils und implizieren so ein entsprechendes Werkzeug für die Demontage.

Charakteristisch für neuartige technische Dokumentationen ist die Verwendung von Animationen für die Darstellung der Handlungsanweisungen sowie der Funktionsbeschreibungen. Die Erstellung dieser Animationen ist derzeit mit einem hohen manuellen Aufwand verbunden, bei dem der Autor jeden Bewegungsablauf sukzessive festlegen und programmieren muss. Ein Ziel der Arbeit ist die Entkopplung der Animation vom zu animierenden Bauteil. Die Animationspfade werden in so genannten Templates abgelegt und können zur Laufzeit mit dem zu animierenden Bauteil kombiniert werden. Die Zuordnung der Bauteile und der Templates erfolgt wiederum über die Metadaten des Bauteils.

Damit der Erstellungsprozess jederzeit mit allen notwendigen und aktuellen Daten versorgt werden kann, muss ein zweiter Prozess die Datenbereitstellung sichern. Dieser arbeitsvorbereitende Prozess ist an die Datenbanken der Entwicklungs- und Produktionsressorts angeschlossen und wird so durch Änderungen bzw. Aktualisierungen der Daten angestoßen. Die vorliegende Arbeit präsentiert ein detailliertes Konzept für diese Datenbereitstellung und zeigt Möglichkeiten für die Integration dieses Prozesses in die Unternehmensinfrastruktur auf.

Die Erfassung und die Pflege des Dokumentenmodells, der Metadaten sowie der Templates erfolgt innerhalb einer Autorenumgebung. Im Rahmen der Arbeit wurde diese Autorenumgebung prototypisch umgesetzt, welche alle notwendigen Funktionalitäten enthält, um den in dieser Arbeit verfolgten Ansatz zu validieren. Erste Tests mit technischen Redakteuren haben den entwickelten Konzepten intuitive Erlernbarkeit und eine deutliche Vereinfachung der Erstellung von AR-basierten Anleitungen bescheinigt.

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT ..... **VI**

ZUSAMMENFASSUNG ..... **VII**

1 MOTIVATION & ZIELSETZUNG **1**

1.1 Motivation 1

1.2 Prämisse 2

1.3 Zielsetzung und Aufbau dieser Dissertation 2

2 TECHNISCHE DOKUMENTATION **6**

2.1 Einführung 6
2.1.1 Begriffseinordnung 6
2.1.2 Aufgaben der technischen Dokumentation 8
2.1.3 Aufbau der Dokumente 10
2.1.4 Ansatzpunkte für Verbesserungen 11
2.1.5 Neuartige technische Dokumentationen 14

2.2 Wissensbasis für die technische Dokumentation 15
2.2.1 Einführung und Definition 15
2.2.2 Wissensformen allgemein 16
2.2.3 Wissensformen in der technischen Dokumentation 18
2.2.4 Zusammenfassung 19

2.3 Darstellungsformen 19
2.3.1 Text-/Bildkombinationen 20
2.3.2 Animationen und Virtual Reality 22
2.3.3 Mixed und Augmented Reality 23

2.4 Erstellungsprozesse 25
2.4.1 Klassischer Autorenprozess 25
2.4.2 Die Methode "Funktionsdesign" 27
2.4.3 Autorenumgebung und Erstellung der Abläufe 28
2.4.4 Existierende Autorensysteme für 3D-Anwendungen 30
2.4.5 Erstellung von Augmented Reality Anwendungen 31
2.4.6 Prozessmanagement 32
2.4.7 Automatisierte Erstellung 34

2.5 Datenmanagement 35
2.5.1 Einführung 35
2.5.2 Produktmodell und Produktstruktur 35
2.5.3 Dokumentenmodell 36
2.5.4 Einordnung der Begriffe "Metadaten" und "Produktdaten" 37
2.5.5 Anwendung von Metadaten 37
2.5.6 Darstellung als Graph 38
2.5.7 Semantische Netze und Ontologien 39
2.5.8 Fazit 40

2.6 Zusammenfassung & Anforderungsprofil 40

3 STRUKTUR NEUARTIGER TECHNISCHER DOKUMENTATIONEN 43

3.1 Innere Struktur eines Dokuments 43
3.1.1 Ansatz 43
3.1.2 Schichtenmodell 43
3.1.3 Strukturebene 44
3.1.4 Informationsebene 44
3.1.5 Beispielanleitung 45
3.1.6 Formale Betrachtung 46

3.2 Dokumentenmodell für technische Dokumentationen 47
3.2.1 Ansatz 47
3.2.2 Herleitung der These (1) 48
3.2.3 Beziehungstypen 50
3.2.4 Herleitung der These (2) 51
3.2.5 Operatoren und Semantik 53
3.2.6 Überführung heutiger Dokumente in das Dokumentenmodell 57

3.3 Zusammenfassung 57

4 PRODUKTSTRUKTUR 58

4.1 Einteilung des Produkts 58
4.1.1 Relationale Einteilung 58
4.1.2 Funktionale Gruppierung 59

4.2 Metadatenkonzept 60
4.2.1 Beispielhafte Metadaten für eine Reparaturanleitung 60
4.2.2 Metadaten basierte Erstellung 63
4.2.3 Verallgemeinerung des Ansatzes 64
4.2.4 Abschlussbemerkungen 65

4.3 Klassifizierung 65
4.3.1 Definition der Klassen 66
4.3.2 Beispielklassen 66
4.3.3 Zuordnung zu einer Klasse 67
4.3.4 Abschließende Bemerkungen 67

4.4 Datenbereitstellung 68
4.4.1 Erfassung 68
4.4.2 Aufbereitung 69
4.4.3 Attributierung 70
4.4.4 Publikation 70

4.5 Zusammenfassung Produktstruktur 70

5 DOKUMENTATIONSERSTELLUNG 71

5.1 Erstellung des Arbeitsablaufes 71
5.1.1 Einführung anhand eines Beispiels 71
5.1.2 Algorithmus 73

5.2 Animationserstellung 76
5.2.1 Ansatz 76
5.2.2 Analyse typischer Handlungsanweisungen 76
5.2.3 Auszug aus einer Template-Bibliothek 78
5.2.4 Erweiterung des Template-Konzepts 82

5.3 Autorenumgebung 82
5.3.1 Abgrenzung der Begriffe 82
5.3.2 Zielsetzung 83
5.3.3 Funktionalität 83
5.4 Zusammenfassung Erstellungsprozess 84

6 UMSETZUNG & VALIDIERUNG 85
6.1 Voraussetzungen & Randbedingungen 85
6.2 Konzept der Autorenumgebung 85
6.2.1 Die Autorenumgebung im Überblick 85
6.2.2 Benutzeroberfläche 86
6.2.3 Workflow-Editor 87
6.3 Implementierte Umfänge 87
6.3.1 Eigenschaftseditor 88
6.3.2 Erstellung und Verwendung der Templates 89
6.3.3 Werkzeugdatenbank 90
6.3.4 Einbindung der Diagnose 91
6.3.5 Schnittstellen 91
6.4 Datenbasis für den Prototypen 92
6.5 Tests & Bewertung 94
6.5.1 Testszenarien 94
6.5.2 Bewertung mit Expertennutzern 95
6.6 Übertragbarkeit auf weitere Bereiche 95
6.7 Zusammenfassung & offene Punkte 97

7 ERKENNTNISSE & PERSPEKTIVEN 98
7.1 Zusammenfassung 98
7.2 Resultate 99
7.3 Perspektiven 100

ANHANG A EXEMPLARISCHE ANLEITUNGEN 103

ANHANG B VERGLEICH DER REPARATURANLEITUNGEN 106

ANHANG C BEGRIFFSDEFINITIONEN 109

ANHANG D ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 113

ANHANG E ABBILDUNGSVERZEICHNIS 114

ANHANG F TABELLENVERZEICHNIS 116

ANHANG G DEFINITIONSVERZEICHNIS 116

ANHANG H LITERATURVERZEICHNIS 117

1 MOTIVATION & ZIELSETZUNG

1.1 Motivation

Der Aufbau und die Funktionsweise moderner technischer Produkte wie Automobile, Flugzeuge oder Fertigungsanlagen werden zunehmend komplexer [saa03], während gleichzeitig immer mehr individualisierte Varianten eines Produkts auf den Markt gebracht werden [kot89], [mer01], [sta05]. Die Komplexität und die Variantenvielfalt schlagen sich auch in der technischen Dokumentation nieder. Diese führen vor allem zu immer mächtigeren und anwenderunfreundlicheren Handbüchern, Anleitungen und technischen Unterlagen. Im gleichen Maße müssen auch die technischen Redaktionen die Vielzahl und Komplexität der Produkte abdecken können [pel96]. Die heutige Vorgehensweise ist jedoch aus wirtschaftlicher Sicht zukünftig nicht mehr rentabel.

Besonders in der Automobilindustrie ist die Individualisierung der Fahrzeuge durch die Bedürfnisse der Kunden besonders stark ausgeprägt [sta05]. Innerhalb einer Baureihe kann der Kunde zwischen unterschiedlichen Karosserievarianten wählen und zusätzlich Sonderausstattungsmerkmale und Zubehörteile bestellen. Allein beim VW Golf lassen sich durch den Kunden mehr als eine Million Varianten konfigurieren [mer01]. Doch obwohl die Vielfalt der hergestellten Produktvarianten stark zunimmt, ist die Industrie bemüht, den Produktionsaufwand sowie die damit verbundenen Kosten durch die Wiederverwendung von Komponenten und Baugruppen in unterschiedlichen Baureihen zu minimieren. Neuste Entwicklungen gehen sogar noch weiter, indem konkurrierende Unternehmen Bündnisse schließen und gemeinsam ein Produkt entwickeln, wie das Beispiel des Projekts TPCA[1] zeigt.

Für technische Dokumente stellt dieser Umstand eine große Herausforderung dar, da es nicht möglich ist, für jedes einzelne Produkt eine angepasste Anleitung zu erstellen. Dies führt unweigerlich dazu, dass eine Dokumentation lediglich für ein Referenzmodell erstellt werden kann, die mehrere Varianten abdecken muss. Doch je mehr Varianten in einer einzelnen Anleitung zusammengefasst werden, desto mächtiger wird die Anleitung und desto weiter entfernt sich der Inhalt vom konkreten realen Produkt.

In der klassischen technischen Dokumentation, bei der vor allem Texte und statische Illustrationen zum Einsatz kommen, kann der Unterschied zwischen dem realen Produkt und der zugehörigen Dokumentation durch die Erfahrung und die kognitiven Fähigkeiten des Anwenders ausgeglichen werden. Doch je näher sich eine Anleitung mit realistischen Darstellungen an das zu beschreibende Produkt annähert, um so stärker werden Fehler und Ungenauigkeiten wahrgenommen und führen zu einer abnehmenden Akzeptanz beim Nutzer. Insbesondere bei der Informationsdarstellung durch immersive[2] Technologien wie bspw. Augmented Reality, dürfen in der Dokumentation keine Ungenauigkeiten vorhanden sein. Somit entsteht die Notwendigkeit, dass eine Anleitung zu 100% zum jeweiligen Produkt passen muss.

Der heutige Erstellungsprozess in der technischen Redaktion kann dieser harten Anforderung jedoch nicht gerecht werden [pel96]. Um technische Dokumentationen erstellen zu können, werden heutzutage noch in hohem Maße reale Produkte benötigt. Meist handelt es sich dabei

[1] TPCA ist ein Gemeinschaftsunternehmen von Toyota, Peugeot und Citroën [tpc05].
[2] Immersion meint das Eintauchen in eine künstliche Umgebung.

um erste Prototypen oder Produkte aus der Vorserie an Hand derer sich der Redakteur die einzelnen Schritte erarbeiten muss. Auf dieser Basis ist es jedoch nicht möglich, alle Varianten, Alternativen und Derivate eines Produkts abzudecken. Dadurch ergibt sich zwangsläufig eine Diskrepanz zwischen dem beschriebenen Produkt und der zugehörigen Anleitung.

Erste Demonstratoren, welche Hypermedia[3] zur Informationsdarstellung innerhalb der technischen Dokumentation einsetzen, wurden bislang komplett manuell erzeugt. Dieses Vorgehen ist sehr zeitaufwendig und kostenintensiv, da jeder Schritt, jede Handlungsanweisung und jede gezeigte Animation durch einen Spezialisten einzeln programmiert werden muss [hai04]. Jedoch verfügen diese Computerspezialisten meist nicht über das notwendige technische Wissen in den Bereichen Fahrzeugtechnik, Arbeitsabläufe und Arbeitssicherheit, um eine korrekte Dokumentation ohne Hilfe eines erfahrenen Redakteurs erstellen zu können. Andererseits verfügen technische Redakteure nicht über die notwendigen Programmier- und Visualisierungskenntnisse.

1.2 Prämisse

Für die vorliegende Arbeit wird angenommen, dass der Produktiveinsatz von neuartigen technischen Dokumentationen in einem Unternehmen angedacht wird, welches technische Produkte entwickelt, produziert und vertreibt. Stellvertretend für komplexe, technische Produkte wird in der vorliegenden Arbeit das Automobil zur Veranschaulichung anhand von Beispielen verwendet. Daraus motiviert, ergibt sich folgende Definition für den Begriff "Produkt":

> **Definition (1): Produkt**
> *"Unter dem Begriff eines komplexen technischen Produkts wird in der vorliegenden Arbeit ein Gegenstand verstanden, der aus mehreren Einzelteilen aufgebaut ist und in Summe eine geforderte Funktion erfüllt.*
>
> *Signifikant für komplexe Produkte ist dabei die Tatsache, dass die Funktion des Gesamtprodukts aus der Summe von Unterfunktionen der Bauteile bzw. Baugruppen, aus welchen das Produkt aufgebaut ist, entsteht.*
>
> *Die Beschreibung der Summenfunktion, sowie kundenrelevanter[4] Unterfunktionen, und der Aufbau eines Produkts sind Gegenstand der technischen Dokumentation."*

1.3 Zielsetzung und Aufbau dieser Dissertation

Für den Produktiveinsatz neuartiger Visualisierungstechnologien in der technischen Dokumentation ist es notwendig, den Erstellungsprozess neu zu entwickeln, zu standardisieren und weitest möglich zu automatisieren. Dem technischen Redakteur soll es möglich sein, ohne spezielle Kenntnisse im Bereich Programmierung und Visualisierung neuartige Dokumentationen zu erstellen. Darüber hinaus sollen wiederkehrende Schritte und einfache Teilschritte automatisiert erstellt werden, um den manuellen Aufwand bei der Informationsbereitstellung stark zu reduzieren [blu02].

[3] Insbesondere mit Hilfe von Text-, Bild-, Ton-, Grafik-, Animations- bzw. Videoelementen.
[4] Als Kunden werden hier die Adressaten der technischen Dokumentation verstanden.
Somit muss es sich nicht zwangsläufig um Käufer des Produkts handeln (vgl. Montageanleitung).

In der Zukunft kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass jedem Anwender jederzeit ein komplettes System zur Verfügung steht, welches in der Lage ist eine neuartige technische Dokumentation anzuzeigen. Für diesen Fall muss eine Anleitung bereitgestellt werden, die weitest gehend unabhängig von den äußern Gegebenheiten ist. Im Regelfall sollte dies eine Textanleitung sein, die ausgedruckt werden kann. Damit kein Mehrfachaufwand für die Erstellung verschiedener Darstellungsformen entsteht, ist eine systemtechnische Unterstützung der Redakteure notwendig.

Generell soll der Ansatz verfolgt werden, die Visualisierung und die Erstellung der Arbeitsabläufe zu entkoppeln. Die Aufgabe des technischen Redakteurs ist dabei zukünftig die Erstellung eines abstrakten Arbeitsablaufes, der festlegt, welcher Schritt bzw. Handlung in welcher Reihenfolge ausgeführt werden muss. In Kombination mit Daten und Informationen aus dem Entwicklungs- und Produktionsbereich können dann automatisiert unterschiedliche Darstellungsformen wie Text-/Bilddarstellungen, Animationen bzw. Augmented Reality basierte Anleitungen ausgeleitet werden.

Die automatisierte Erstellung von neuartigen technischen Dokumentationen soll zukünftig auf einer Datenbasis aufsetzen, welche alle notwendigen Informationen und Eingangsdaten enthält und in geeigneter Form zur Verfügung stellt. Die Verantwortung der technischen Redaktion besteht dabei zukünftig in der Erfassung neuer Informationen und der Pflege der Datenbasis. Die eigentliche Anleitung wird nur für den Anwender sichtbar.

Die vorliegende Dissertation befasst sich mit den Gebieten der technischen Dokumentation, des Produktdatenmanagements, der Autorenprozesse und der Arbeitsumgebung technischer Redakteure sowie verschiedenen Medien zur Darstellung von Abläufen und Handlungsanweisungen in der technischen Dokumentation. Dabei soll eine Verbindung dieser Themengebiete geschaffen werden, um die Ziele dieser Arbeit zu erreichen.

In der Literatur existieren grundsätzlich drei Ansatzpunkte um steigende Komplexität zu beherrschen. Zum einen muss die Arbeitsumgebung durch die Einführung geeigneter Werkzeuge und durch die Beseitigung von Störfaktoren verbessert werden. Zum Zweiten muss der Einsatz von Ressourcen vor allem durch Prozessverbesserungen optimiert werden. Und drittens muss die Abstraktion durch den Einsatz geeigneter Methoden und Darstellungsmittel verbessert werden [siw05].

Unter Berücksichtigung dieser Ansatzpunkte ist das Kernziel der Dissertation die Entwicklung, Standardisierung und Automatisierung des Erstellungsprozesses für neuartige technische Dokumentationen. Dabei soll dem technischen Redakteur ein Rahmenwerk zur Verfügung gestellt werden, welches ihm erlaubt, sein technisches Fachwissen einzubringen. Mit Hilfe von Produktdaten aus allen Anwendungsbereichen wird ein computergestütztes System in die Lage versetzt, technische Dokumentationen basierend auf unterschiedlichen Darstellungsformen zu erstellen.

Die Ziele und Aufgaben dieser Dissertation sind im Einzelnen:

- Eine analytische Bewertung heutiger technischer Dokumentationen und des assoziierten Erstellungsprozesses.
- Analyse und Bewertung des Optimierungsbedarfs, der Standardisierungsmöglichkeiten und des Automatisierungspotenzials.
- Ableitung eines Anforderungsprofils aufbauend auf den identifizierten Defiziten und Ansatzpunkten für Verbesserungen.

- Die Definition eines abgeschlossenen Erstellungsprozesses für neuartige technische Dokumentationen.
- Modularisierung der Prozessschritte.
- Konzeption eines Rahmenwerks bzw. einer Methode für die systemtechnische Unterstützung des Erstellungsprozesses.
- Validierung der Ergebnisse an Hand einer prototypischen Implementierung.
- Erprobung des Demonstrators mit Expertennutzern.

Die Abbildung 1.1 zeigt eine grobe Darstellung des zu entwickelnden Erstellungsprozesses. Auf der Ergebnisseite stehen die technischen Dokumente, welche aus den Eingangsdaten generiert werden. Die Parameter für die Erstellung kommen entweder als Produktdaten aus der Produktentwicklung oder müssen von der technischen Redaktion erstellt werden. Angelehnt an diese Darstellung ist die vorliegende Arbeit aufgebaut.

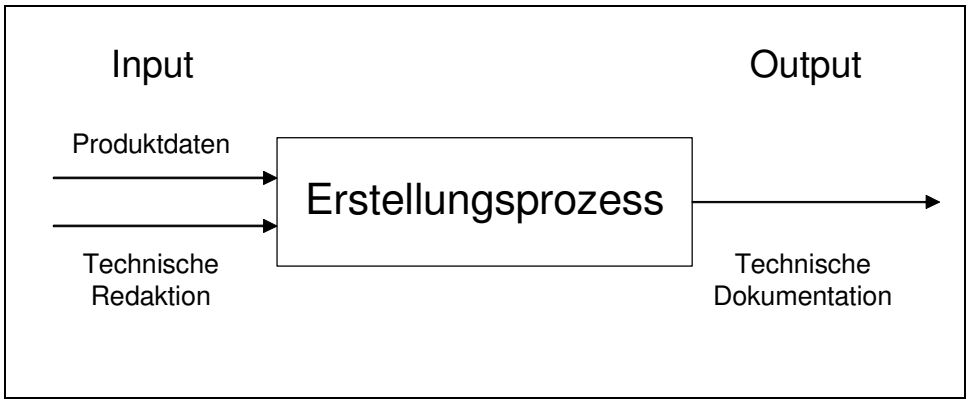


Abbildung 1.1: Grobdarstellung des Erstellungsprozesses

Das Kapitel 2 gibt den Stand der Technik auf dem Themengebiet der Technischen Dokumentation wieder. Zunächst werden die verschiedenen Erscheinungsformen und Aufgaben technischer Dokumente erläutert. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Erstellung der Dokumente gelegt, um die Ansatzpunkte für Verbesserungen und die Rahmenbedingungen für den zu entwickelnden Erstellungsprozess neuartiger technischer Dokumentationen herauszuarbeiten. Darüber hinaus werden die verschiedenen Wissensformen in der technischen Dokumentation betrachtet, um geeignete Darstellungsformen für den jeweiligen Anwendungsfall ableiten zu können. Heutzutage steht eine Vielzahl an Darstellungen zur Verfügung, aus der anwendungsabhängig zu wählen ist. Den Abschluss des zweiten Kapitels bildet ein Überblick über die gängigen Methoden und Werkzeuge im Bereich Datenmanagement, welches für die vorliegende Arbeit von grundlegender Bedeutung ist.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird in den Kapiteln 3, 4 und 5 der neue Erstellungsprozess sukzessive aufgebaut. Den Beginn stellt eine Beschreibung der neuen modularen Struktur eines Dokuments dar und ordnet diese Module in ein Dokumentenmodell ein. Das Kapitel 4 beschreibt zusätzliche Sichten auf die Produktstruktur, die notwendigen Erweiterungen durch Metadaten und präsentiert ein Konzept für den Prozess der Datenbereitstellung. Nachdem alle Daten vorhanden sind, kann die Dokumentationserstellung in Kapitel 5 definiert werden. Beschrieben werden hier die Erstellung auf Basis des Dokumentenmodells unter zu Hilfenahme der produktspezifischen Metadaten und die Animationserstellung mit generischen Animations-Templates.

Ausgewählte Teile der vorgestellten Konzepte und Methoden wurden im Rahmen dieser Arbeit implementiert und auf ihre Anwendbarkeit hin validiert. Das Kapitel 6 beschreibt den entstandenen Demonstrator, dessen Funktionalitäten und den Aufbau der graphischen Benutzerschnittstelle.

Abgeschlossen wird die Arbeit in Kapitel 7 mit einer Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse und zeigt Perspektiven für weiterführende Arbeiten auf. Die entwickelten Konzepte und die Ergebnisse der Validierung werden kritisch beleuchtet und Ansatzpunkte für Verbesserungen sowie das Weiterentwicklungspotenzial beschrieben.

2 TECHNISCHE DOKUMENTATION

2.1 Einführung

Dieses Kapitel führt in das Fachgebiet der technischen Dokumentation ein. Neben einem allgemeinen Überblick werden vorrangig Aspekte beleuchtet, welche mit dem Thema der vorliegenden Arbeit eng verbunden sind. Zunächst werden die gängigen Begriffe aus der technischen Dokumentation definiert und eingeordnet. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die in der technischen Dokumentation vorkommenden Wissensformen gelegt, um dem späteren Erstellungsprozess alle notwendigen Daten zur Verfügung zu stellen. Da neuartige technische Dokumentationen auf der Verwendung neuer Darstellungsformen wie z.B. Augmented Reality basieren, enthält dieses Kapitel auch eine ausführliche Betrachtung möglicher Visualisierungstechnologien für technische Dokumente und setzt sich mit den resultierenden Anforderungen für die Erstellung auseinander. Anschließend wird der Erstellungsprozess für diese Dokumente vorgestellt, so wie er heute in der Praxis üblich ist. Daraus lassen sich Nachteile und Defizite ableiten, welche für den Erstellungsprozess neuartiger technischer Dokumentationen näher betrachtet und entsprechende Lösungskonzepte gefunden werden müssen. Im Rahmen des Themas "Datenmanagement" werden die notwendigen Eingangsdaten und Parameter für den zukünftigen Erstellungsprozess beschrieben, da eines der Ziele dieser Arbeit die Prozessautomatisierung darstellt. Dieses gesamte Kapitel beinhaltet einen detaillierten Abgleich der heute eingesetzten Prozesse und Systeme mit den Anforderungen an den Erstellungsprozess neuartiger technischer Dokumentationen. Daraus lässt sich eine Zusammenfassung in Form eines Anforderungsprofils ableiten.

2.1.1 Begriffseinordnung

Die technische Dokumentation umfasst alle Informationen, die ein Produkt und damit verbunden den Umgang mit diesem Produkt beschreiben. Die technische Dokumentation hat dabei das Ziel, den Anwender zu befähigen, eine bestimmte Handlung erfolgreich durchzuführen. Je nach Anwendung und Zielgruppe existieren unterschiedliche Ausprägungen [juh02]. Die tekom[5] versteht unter dem Begriff der "technischen Dokumentation" verschiedene Dokumente mit produktbezogenen Daten und Informationen, die für unterschiedliche Zwecke verwendet und gespeichert werden. Darunter fallen die Definition und die Spezifikation des Produkts, die Konstruktion, die Herstellung, die Qualitätssicherung, die Produkthaftung, die Produktdarstellung, die Beschreibung von Funktionen und Schnittstellen, die bestimmungsgemäße, sichere und korrekte Anwendung, die Instandhaltung und die Reparatur eines technischen Produkts sowie die gefahrlose Entsorgung [tek06]. Daraus lässt sich folgende Definition ableiten:

> **Definition (2): Technische Dokumentation**
> *"Die technische Dokumentation enthält Informationen über ein technisches Produkt. Sie beschreibt den Aufbau, die Funktionsweise und den Nutzen des Produkts."*

Die Hersteller von technischen Systemen sind aus Haftungsgründen zur Bereitstellung der Dokumentationen gesetzlich verpflichtet. Wichtige Gesetze in diesem Zusammenhang sind das Produkthaftungsgesetz [bun89], das Geräte- und Produktsicherheitsgesetz sowie Normen

[5] Deutscher Fachverband für Technische Kommunikation und Informationsentwicklung

und Vorschriften der DIN[6], der EN[7] und des VDE[8]. Die Norm DIN EN 62079 bildet die Grundlage für die Gestaltung und die Erstellung von technischen Dokumentationen. Diese Norm enthält allgemeine Grundlagen, detaillierte Anforderungen für den Entwurf und die Erstellung aller Arten von Anleitungen. Der Anwendungsbereich umfasst sowohl kleine als auch große und komplexe Produkte. Eine Einschränkung auf einen bestimmten Produktbereich wurde jedoch nicht vorgenommen. Aus Paragraph drei des Produkthaftungsgesetzes (§3 ProdHaftG) wird deutlich, dass ein Fehler in der Dokumentation unweigerlich auch als ein Fehler des Produkts zu werten ist. Somit kann der Hersteller eines Produkts mit fehlerhafter Dokumentation für den entstandenen Schaden haftbar gemacht werden [sch04b].

Eine Untergruppe der technischen Dokumentation bilden die technischen Anleitungen. In Anlehnung an [kra05] soll für die vorliegende Arbeit diese Definition gelten:

Definition (3): Technische Anleitung
"Als technische Anleitung gilt die Teilmenge der technischen Dokumentation[9], welche den Anwender zu konkreten Handlungen[10] an einem technischen Produkt anleitet."

Zum einen beschreibt eine technische Anleitung die Funktionsweise eines Produkts, zum anderen wird der Aufbau bzw. die Struktur des Produkts erläutert. Zur technischen Dokumentation zählen auch nicht anleitende Dokumente. Die wichtigsten Vertreter aus dieser Gruppe sind Ersatzteilkataloge, Stücklisten, Produktkataloge und Werbematerialien.

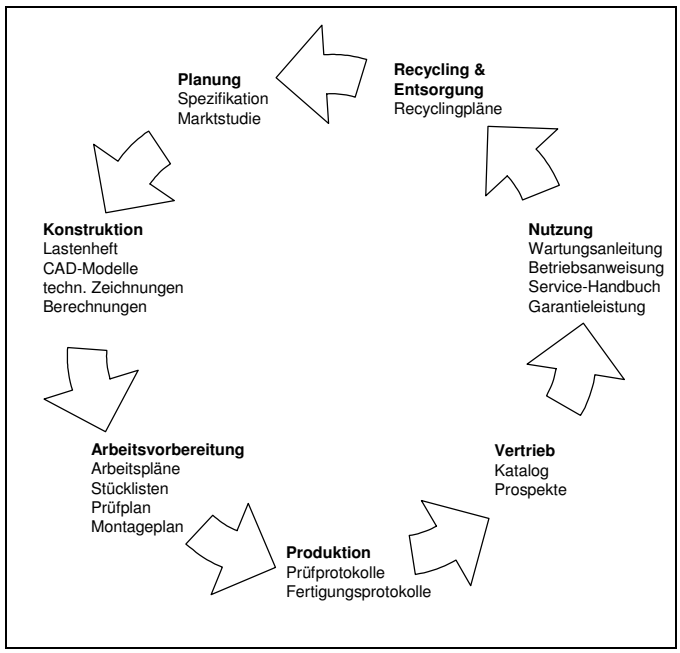


Abbildung 2.1: Phasen im Produktlebenszyklus und deren technische Dokumente

[6] Deutsches Institut für Normung e.V. (Berlin)
[7] Europäische Norm
[8] Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
[9] Eine synonyme Verwendung der Begriffe "technische Dokumentation" und "technische Anleitung" ist somit unzulässig [kra05].
[10] Nach [kra05] wird eine Handlung als zielgerichtet menschliches Verhalten verstanden, welches nutzenorientiert, geplant und geregelt, teils hierarchisch, teils sequentiell geordnet, teils bewusst, teils automatisiert abläuft.

Technische Dokumente entstehen entlang des gesamten Produktlebenszyklus (vgl. Abbildung 2.1). Die Hauptaufgaben der Dokumente sind dabei einerseits der Transport von Informationen von Phase zu Phase und andererseits muss die technische Dokumentation den gesetzlichen Vorgaben gerecht werden.

2.1.2 Aufgaben der technischen Dokumentation

Der technischen Dokumentation werden im Rahmen der Produktentwicklung, dessen Produktion, sowie im Vertrieb und Service diverse Aufgaben zugeordnet. Dazu zählen die Bereitstellung aller notwendigen Informationen über ein Produkt, die Vermittlung eines Grundwissens bzgl. des Produkts und die Anleitung zur korrekten Verwendung. Dabei können diese Aufgaben nach [juh02] in fünf Inhalte gruppiert werden:

Leistungsbeschreibung

In einer Betriebsanleitung erklärt die Leistungsbeschreibung dem Nutzer, welche Art von Gerät er vor sich hat und was er damit machen kann. In einem Verkaufsprospekt werden Funktionen des Produkts erläutert und beworben. Die Leistungsbeschreibung vermittelt einen ersten Eindruck und legt den bestimmungsgemäßen Gebrauch fest. Diese Festlegung hilft bei Produkthaftungsschäden durch missbräuchliche Verwendung.

☐ **Aktive Geschwindigkeitsregelung** ermöglicht das komfortable Fahren mit einer vorgewählten Geschwindigkeit. Bei Kolonnenfahrt passt sich Ihr BMW an ein langsamer vorausfahrendes Fahrzeug an und hält per Radarsensor automatisch einen vorgewählten Abstand ein. Zusätzlich stellt die Bremsfunktion sicher, dass auch bei Bergabfahrt die Wunschgeschwindigkeit konstant bleibt.

Abbildung 2.2: Leistungsbeschreibung in einem Verkaufsprospekt [bmw05a]

Gerätebeschreibung

Hier werden benutzerrelevante Teile erläutert und eindeutig identifiziert.

1 Geschwindigkeitsmesser
2 Kontrollleuchten für Blinker
3 Kontroll- und Warnleuchten 11
4 Anzeigen für Aktive Geschwindigkeitsregelung* 58
5 Drehzahlmesser 61
6 Energie-Control 62
7 Display für
▷ Uhr 61
▷ Außentemperatur 61
▷ Kontroll- und Warnleuchten 70
8 Anzeige für
▷ Automatic-Getriebe Position* 49
▷ Bordcomputer 62
▷ Datum und verbleibende Fahrstrecke für Servicebedarf 66
▷ Kilometerzähler und Tageskilometerzähler 61
▷ Einstellungen und Informationen 65
9 Kraftstoffanzeige 62
10 Tageskilometerzähler zurücksetzen 61

Abbildung 2.3: Geräteschreibung einer Pkw-Instrumentenkombination [bmw04b]

Tätigkeitsbeschreibung

Die Tätigkeitsbeschreibung ist der Kern einer technischen Anleitung. Hier wird beschrieben, welche Tätigkeiten der Anwender ausführen kann oder welche Tätigkeiten er Schritt für Schritt ausführen muss, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Das Ziel kann einerseits eine Funktion sein, die der Anwender nutzen möchte, oder andererseits kann das Ziel das Ersetzen einer Komponente im Rahmen einer Reparatur sein. Zusätzlich sollten Ausgangssituation und Resultat der Handlung klar herausgestellt werden. Die Abbildung 2.4 zeigt einen Auszug aus der aktuellen Instandsetzungsliteratur in der Automobilindustrie. Technische Dokumentationen beschreiben in der Tätigkeitsbeschreibung einen zielorientierten Prozess.

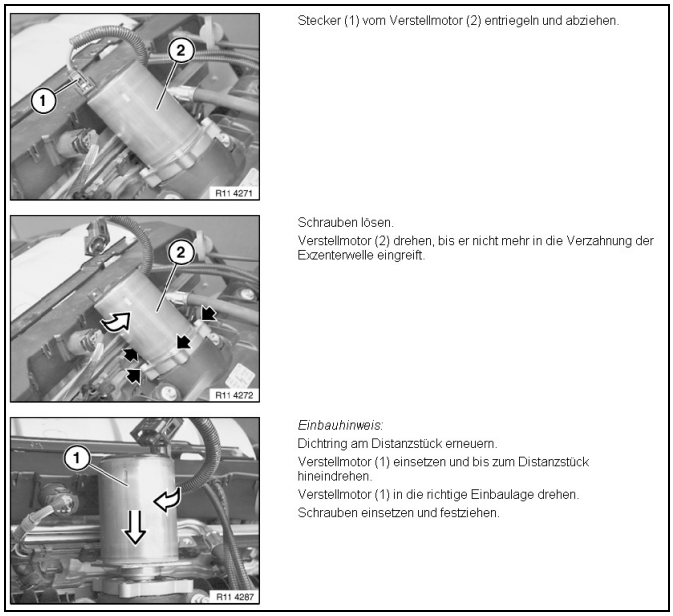

Stecker (1) vom Verstellmotor (2) entriegeln und abziehen.
R11 4271
Schrauben lösen.
Verstellmotor (2) drehen, bis er nicht mehr in die Verzahnung der Exzenterwelle eingreift.
R11 4272
Einbauhinweis:
Dichtring am Distanzstück erneuern.
Verstellmotor (1) einsetzen und bis zum Distanzstück hineindrehen.
Verstellmotor (1) in die richtige Einbaulage drehen.
Schrauben einsetzen und festziehen.
R11 4287

Abbildung 2.4: Klassische Reparaturanleitung mit Text-/Bildkombination [bmw02]

Funktionsweise

Dieser Teil muss nicht notwendigerweise in jeder Anleitung vorhanden sein. Dies hängt in besonderem Maße von der Zielgruppe des Produkts ab. Die Funktionsweise eines Gerätes oder Produktes zu erläutern, macht meist Sinn im Rahmen des technischen Trainings bspw. für Servicetechniker oder das Verkaufspersonal.

Technische Unterlagen

Zu den technischen Unterlagen zählen Dokumente, die während der Konstruktion entstehen oder aus Servicesicht notwendig sind. Dies sind bspw. Schaltpläne, Stücklisten oder auch Maßzeichnungen (vgl. Abbildung 2.5) und Prüfprotokolle aus der Diagnose.

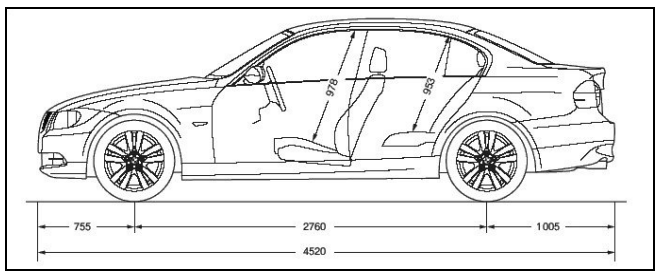


Abbildung 2.5: Technische Zusatzdaten [bmw05a]

Zu diesen fünf Inhalten kommen noch weitere Inhalte dazu, welche die Umrandung des Kerns bilden. Hierzu zählen vor allem Ordnungselemente zur Orientierung und Verständniselemente, die helfen schwierige Dinge zu verstehen.

2.1.3 Aufbau der Dokumente

Heutige Dokumentationen basieren überwiegend auf der Kombination aus Texten sowie Bildern und sind statisch aufgebaut. Werden Informationen in einem Dokument mehrfach benötigt, erfolgt dies durch die Verwendung von Querverweisen, welche den Anwender zum Hin- und Herblättern in der Dokumentation zwingen. Die Abbildung 2.6 zeigt, dass dadurch sogar sicherheitsrelevante Informationen überlesen und somit verloren gehen können.

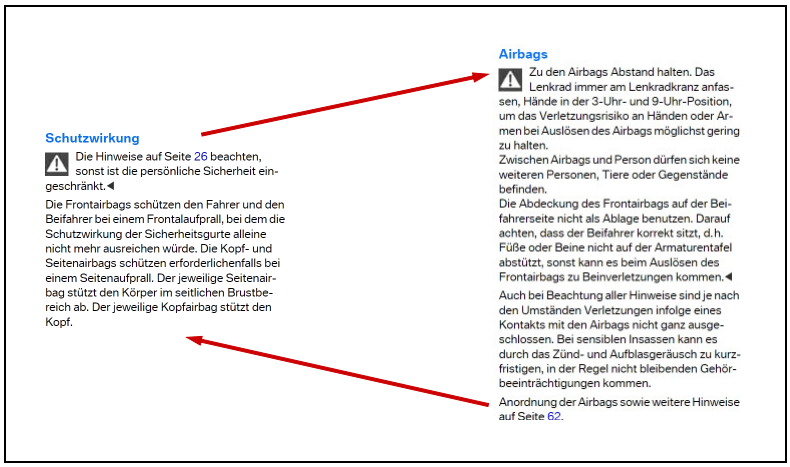

Schutzwirkung
Die Hinweise auf Seite 26 beachten, sonst ist die persönliche Sicherheit eingeschränkt.
Die Frontairbags schützen den Fahrer und den Beifahrer bei einem Frontalaufprall, bei dem die Schutzwirkung der Sicherheitsgurte alleine nicht mehr ausreichen würde. Die Kopf- und Seitenairbags schützen erforderlichenfalls bei einem Seitenaufprall. Der jeweilige Seitenairbag stützt den Körper im seitlichen Brustbereich ab. Der jeweilige Kopfairbag stützt den Kopf.
Airbags
Zu den Airbags Abstand halten. Das Lenkrad immer am Lenkradkranz anfassen, Hände in der 3-Uhr- und 9-Uhr-Position, um das Verletzungsrisiko an Händen oder Armen bei Auslösen des Airbags möglichst gering zu halten.
Zwischen Airbags und Person dürfen sich keine weiteren Personen, Tiere oder Gegenstände befinden.
Die Abdeckung des Frontairbags auf der Beifahrerseite nicht als Ablage benutzen. Darauf achten, dass der Beifahrer korrekt sitzt, d.h. Füße oder Beine nicht auf der Armaturentafel abstützt, sonst kann es beim Auslösen des Frontairbags zu Beinverletzungen kommen.
Auch bei Beachtung aller Hinweise sind je nach den Umständen Verletzungen infolge eines Kontakts mit den Airbags nicht ganz ausgeschlossen. Bei sensiblen Insassen kann es durch das Zünd- und Aufblasgeräusch zu kurzfristigen, in der Regel nicht bleibenden Gehörbeeinträchtigungen kommen.
Anordnung der Airbags sowie weitere Hinweise auf Seite 62.

Abbildung 2.6: Verweise innerhalb einer Betriebsanleitung [bmw04b]

Im Falle der Reparaturanleitung existiert zu jedem Bauteil bzw. zu jedem Arbeitsschritt ein Dokument (vgl. Abbildung 2.4), welches den jeweiligen Arbeitsschritt enthält. Eine komplette Anleitung entsteht durch die Verknüpfung dieser Einzeldokumente über Verweise auf ein anderes Dokument. Jeder Arbeitsschritt enthält eine Auflistung der notwendigen Vorarbeiten (vgl. Abbildung 2.7), welche durch den Mechaniker zu beachten sind.

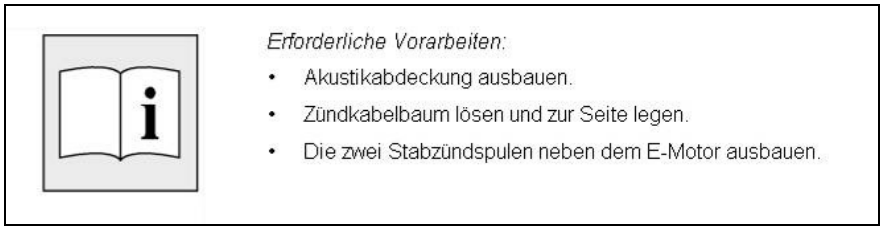

Erforderliche Vorarbeiten:
Akustikabdeckung ausbauen.
Zündkabelbaum lösen und zur Seite legen.
Die zwei Stabzündspulen neben dem E-Motor ausbauen.

Abbildung 2.7: Verweise auf Vorarbeiten innerhalb einer Reparaturanleitung [bmw04a]

Dieser sehr modulare Aufbau hat bei der Erstellung und der Pflege der Dokumentationen den Vorteil, dass bei Änderungen der Produktbestandteile nur ein Minimum an Dokumenten bearbeitet werden muss. Der Nachteil dieser Vorgehensweise befindet sich allerdings auf der Anwenderseite. Hier muss der Mechaniker oft eine Vielzahl an Dokumenten parallel öffnen und sich den linearen Ablauf selbst zusammenstellen.

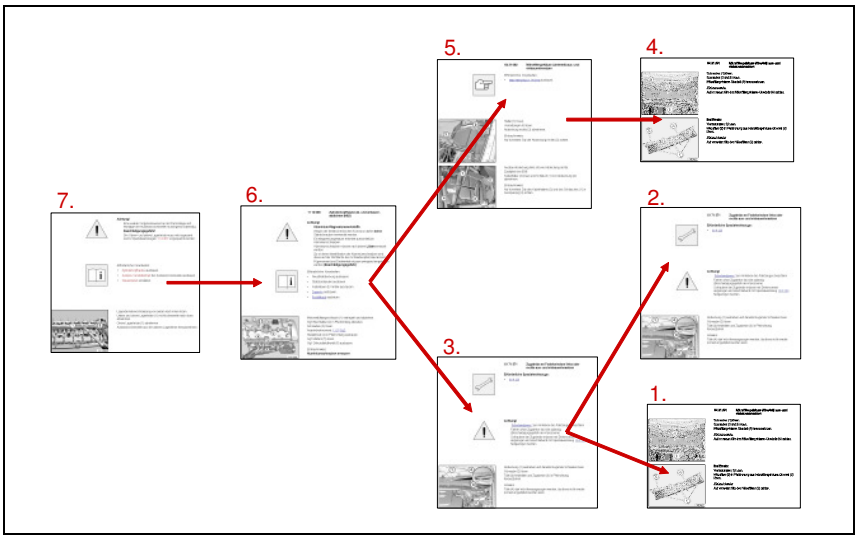


Abbildung 2.8: Statische Verlinkung der Einzeldokumente

Die Abbildung 2.8 zeigt die statische Verlinkung der einzelnen Dokumente einer heutigen Reparaturanleitung. Der Mechaniker hat als Suchergebnis nach einer bestimmten Anleitung das linke Dokument gefunden. In diesem Dokument sind ggf. erforderliche Vorarbeiten (vgl. Abbildung 2.7) aufgeführt (hier durch Pfeile visualisiert). Der Mechaniker muss sich durch die einzelnen Dokumente bis zum Beginn einer Reparatur navigieren und anschließend selbst aufgrund seiner Erfahrung eine sinnvolle Reihenfolge der Dokumente festlegen. Die in Abbildung 2.8 dargestellte Sequenz der Arbeitsschritte { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 } ist nur eine von mehreren Möglichkeiten. So können bspw. die Schritte 1, 2 und 4 beliebig getauscht werden, da zwischen diesen keine Abhängigkeiten bestehen. Unerfahrene Mechaniker wählen unter Umständen eine umständliche oder langwierige Reihenfolge, welche den Zeitaufwand für die Reparatur unnötig erhöht.

2.1.4 Ansatzpunkte für Verbesserungen

Ein erster Ansatzpunkt für Verbesserungen aus Anwendersicht ergibt sich aus dem im vorigen Unterkapitel beschriebenen Aufbau der Dokumente. Hier bedarf es einer Sichtweise auf die Dokumente, welche den modularen Aufbau der Informationen im Hintergrund verbirgt und dem Anwender einen linearen Aufbau der Informationen präsentiert und somit Navigationsfehler vermeidet.

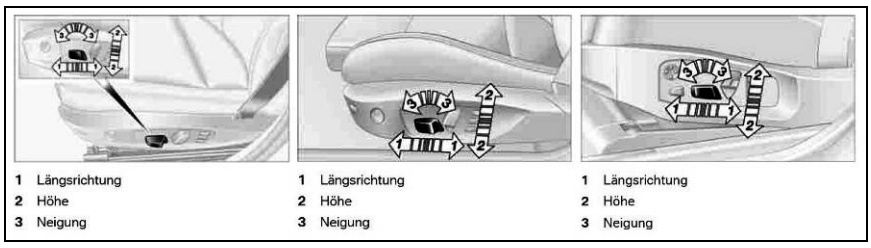


Abbildung 2.9: Einstellung der Sitze im BMW 1er, 3er und 5er [bmw04b]

Ein weiterer Ansatzpunkt ist die Modularisierung der Informationen. Heutige Dokumente beinhalten modular aufgebaute Arbeitsschritte, jedoch die Arbeitsschritte selbst werden nicht in kleinere Informationspakete unterteilt. Ein Beispiel dafür zeigt die Abbildung 2.9. Hier wird die elektrische Verstellung der Sitze für die Modelle BMW 1er, 3er und 5er miteinander verglichen. Es ist ersichtlich, dass dreimal dieselbe Information dargestellt wird, aber die

Darstellung dieser Information dreimal neu generiert wurde. An dieser Stelle bedarf es einer Trennung des technischen Inhalts (Funktion des Bedienknopfes) und der Darstellung.

Diese Trennung von Inhalt und Darstellung kann auch für Reparaturanleitungen propagiert werden. Die Abbildung 2.10 zeigt einen typischen Auszug aus einer aktuellen Reparaturanleitung.

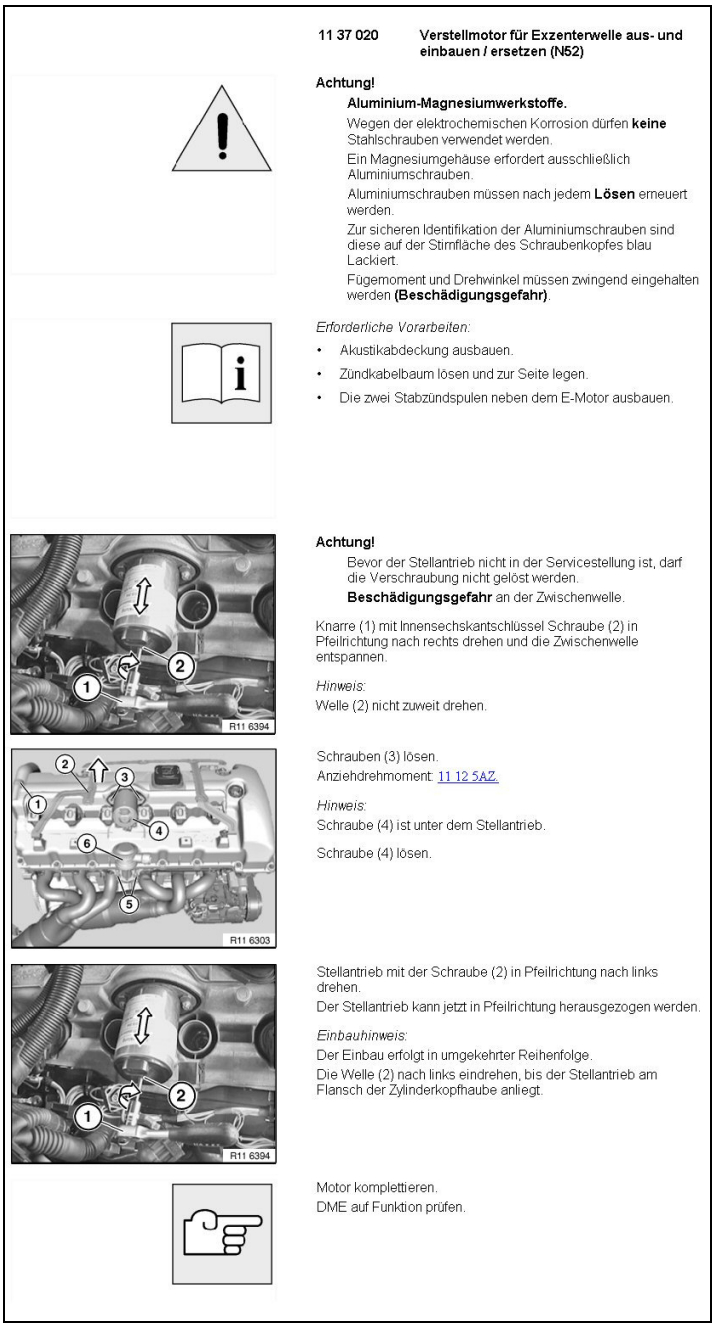
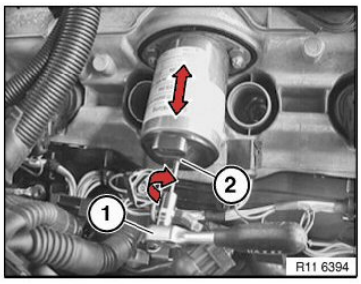

11 37 020 Verstellmotor für Exzenterwelle aus- und einbauen / ersetzen (N52)
Achtung!
Aluminium-Magnesiumwerkstoffe.
Wegen der elektrochemischen Korrosion dürfen keine Stahlschrauben verwendet werden.
Ein Magnesiumgehäuse erfordert ausschließlich Aluminiumschrauben.
Aluminiumschrauben müssen nach jedem Lösen erneuert werden.
Zur sicheren Identifikation der Aluminiumschrauben sind diese auf der Stirnfläche des Schraubenkopfes blau Lackiert.
Fügemoment und Drehwinkel müssen zwingend eingehalten werden (Beschädigungsgefahr).
Erforderliche Vorarbeiten:
• Akustikabdeckung ausbauen.
• Zündkabelbaum lösen und zur Seite legen.
• Die zwei Stabzündspulen neben dem E-Motor ausbauen.
Achtung!
Bevor der Stellantrieb nicht in der Servicestellung ist, darf die Verschraubung nicht gelöst werden.
Beschädigungsgefahr an der Zwischenwelle.
Knarre (1) mit Innensechskantschlüssel Schraube (2) in Pfeilrichtung nach rechts drehen und die Zwischenwelle entspannen.
Hinweis:
Welle (2) nicht zuweit drehen.
R11 6394
Schrauben (3) lösen.
Anziehdrehmoment: 11 12 5AZ.
Hinweis:
Schraube (4) ist unter dem Stellantrieb.
Schraube (4) lösen.
R11 6303
Stellantrieb mit der Schraube (2) in Pfeilrichtung nach links drehen.
Der Stellantrieb kann jetzt in Pfeilrichtung herausgezogen werden.
Einbauhinweis:
Der Einbau erfolgt in umgekehrter Reihenfolge.
Die Welle (2) nach links eindrehen, bis der Stellantrieb am Flansch der Zylinderkopfhaube anliegt.
R11 6394
Motor komplettieren.
DME auf Funktion prüfen.

Abbildung 2.10: Auszug aus einer heutigen Reparaturanleitung [bmw04a]

Der Auszug beginnt mit einem allgemeinen Hinweis zu Aluminiumschrauben, der nicht bei der Abbildung steht, bei welcher diese Art von Schrauben vorkommt. Dadurch kann der Hinweis überlesen werden, da der Mechaniker gezielt nach den Informationen sucht, die er für seine Arbeit benötigt und die neben der betrachteten Abbildung stehen. Er geht somit direkt zum ersten Arbeitsschritt über, welcher die Demontage erklärt.



Stellantrieb mit der Schraube (2) in Pfeilrichtung nach links drehen.

Der Stellantrieb kann jetzt in Pfeilrichtung herausgezogen werden.

Einbauhinweis:

Der Einbau erfolgt in umgekehrter Reihenfolge.

Die Welle (2) nach links eindrehen, bis der Stellantrieb am Flansch der Zylinderkopfhaube anliegt.

Abbildung 2.11: Teilschritt aus obiger Reparaturanleitung [bmw04a]

Des Weiteren sind die erste und die dritte Abbildung identisch, obwohl unterschiedliche Arbeiten beschrieben werden. Dadurch lässt sich zwar einerseits der Erstellungsaufwand minimieren, andererseits jedoch bedingt dies auch Fehler in der Stimmigkeit zwischen Text und Bild. Folgende Anweisung findet sich im Anleitungstext (vgl. Abbildung 2.11):

"Stellantrieb mit der Schraube (2) in Pfeilrichtung nach links drehen."

Zunächst ist der Informationsgehalt dieser Arbeitsanweisung redundant, weil die Formulierungen "in Pfeilrichtung" und "nach links" dasselbe aussagen sollten. Betrachtet man aber nun die korrespondierende Abbildung, sieht man, dass der eingezeichnete Pfeil nach rechts zeigt. Somit stellt die Reparaturanleitung in dieser Kombination aus Text und Bild keine sinnvolle Hilfe für den Mechaniker dar.

Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist in derartigen Fällen die Textinformation korrekt, da diese speziell für diesen Arbeitsschritt geschrieben wurde, die Abbildung hingegen wurde von einem anderen Schritt übernommen. Jedoch werden vom Anwender üblicherweise Abbildungen eher wahrgenommen als dass der Text gelesen wird. Fälle dieser Art finden sich in allen Dokumentationen, denen ein manueller Erstellungsprozess zugrunde liegt. In den Arbeiten [nov05] und [mac86] wird diese Art von Unstimmigkeiten zwischen Text und Bild sowie Wege zur Lösung diskutiert. Novick und Lowe propagieren einen Single-Source-Ansatz (vgl. Kapitel 2.4.7), bei dem der Text aus der CAD-Repräsentation generiert wird [nov05]. Auf ähnliche Art und Weise generiert Mackinlay automatisiert Diagramme aus einer entsprechenden Datenbasis [mac86].

Nach den Ausführungen von [joe06] lassen sich die Defizite heutiger technischer Dokumentationen in vier Schwerpunkten zusammenfassen:

- Die Dokumente sind monolithisch aufgebaut und besitzen kein Variantenmanagement.
- Der Inhalt und das Layout bzw. die Visualisierung werden nicht voneinander getrennt.
- Es fehlt die Integration technischer Dokumente in das Produktdatenmanagement.
- Die Geschäftsprozesse der technischen Redaktion werden nicht durchgängig automatisiert.

In der vorliegenden Arbeit wird daher ein besonderer Fokus auf die Neustrukturierung technischer Dokumente, auf die Trennung von technischem Inhalt und der zugehörigen Visualisierung, auf die Einbindung von Produktdaten in den Erstellungsprozess und auf das Aufzeigen des Automatisierungspotenzials des gesamthaften Erstellungsprozesses gelegt.

2.1.5 Neuartige technische Dokumentationen

Gedruckte Anleitungen, die auf Texten und Abbildungen basieren, sind derzeit der Standard in der technischen Dokumentation. Durch die Verbreitung von PCs und des Internets werden Anleitungen häufig in Form von HTML, PDF oder integrierten Hilfen in Softwareprodukten an den Anwender weitergeben. Entscheidende Vorteile haben die elektronisch abgelegten Anleitungen bei der kostengünstigeren Vervielfältigung, der besseren Unterstützung bei der Suche einzelner Themen und sie können zentral auf einem Server bereitgestellt werden [juh02]. Doch auch diese Form der technischen Dokumentation basiert ausschließlich auf den Medien Sprache, Text und statischen Abbildungen. Der nächste Schritt ist es, dynamische Medien (vgl. Tabelle 2.1) in die Dokumentation einzubinden. Derzeit werden prototypische Anleitungen basierend auf Animationen, Virtual Reality bzw. Augmented Reality in unterschiedlichen Anwendungsbereichen erprobt [cau92], [rei98], [miz01], [blu03], [arv03], [art06] (vgl. Kapitel 2.3).

Für die vorliegende Dissertation soll folgende Definition gelten:

> **Definition (4): Neuartige technische Dokumentation**
> *"Unter neuartigen technischen Dokumentationen sind alle Arten der technischen Dokumentation zu verstehen, welche sich als zusätzlichen Informationsträger die 'Bewegung' zu Nutze machen."*

Die Definition (4) kann direkt auf technische Anleitungen übertragen werden. Einer gesonderten Definition bedarf es nicht, da die technische Anleitung eine Teilmenge der technischen Dokumentation darstellt (vgl. Definition (3)).

Als Motivation für neuartige technische Dokumentationen sei an dieser Stelle beispielhaft der Kontext der Instandsetzungsliteratur für Automobile erwähnt. Weltweit müssen in den Werkstätten die steigende Produktvielfalt und -komplexität durch gezielte Schulungen der Mitarbeiter aufgefangen werden. Diese Schulungen sind einerseits sehr kostenintensiv, auf der anderen Seite ist es für die Servicetechniker sehr schwer alle Arbeitsprozesse dauerhaft präsent zu haben. Somit wird zukünftig das vorhandene Wissen der Servicetechniker nicht mit der Komplexität der Produkte Schritt halten können (Abbildung 2.12). Zu befürchten ist, dass die Qualität der durchgeführten Reparaturen leidet und es vermehrt zu Wiederholreparaturen und damit zu negativen Auswirkungen auf die Kundenzufriedenheit sowie die "Total Cost of Ownership (TCO)[11]" kommt.

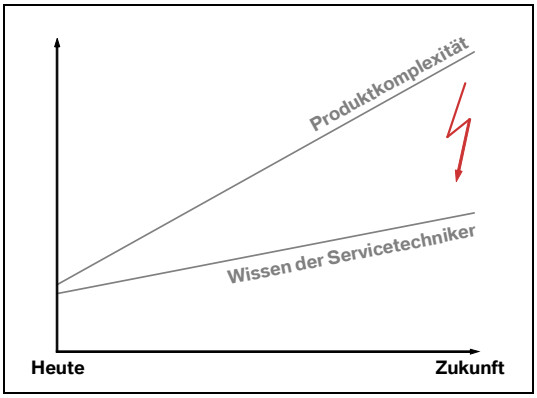


Abbildung 2.12: Diskrepanz zwischen benötigtem und vorhandenem Wissen

[11] Kosten, die durch Anschaffung, Wartung, Pflege, Benutzung und Recycling eines Produkts entstehen [bro02].

Hier bedarf es neuer Ansätze. Der Computer soll dem Servicetechniker verstärkt aktive bzw. interaktive Hilfestellungen geben. Schon heute steht der Computer in allen Werkstätten den Mitarbeitern zur Verfügung, allerdings nur in Form eines passiven Informationssystems, welches eine konventionelle Reparaturanleitung elektronisch anzeigt.

Rasante Entwicklungen im Fahrzeugbereich führen zu immer komplexeren Baugruppen und Systemen [saa03]. Dadurch steigen die Anforderungen an aussagekräftigen Dokumentationen in gleichem Maße. Bisher wurde die wachsende Komplexität durch Quantität der Dokumentation aufgefangen. Heutige Dokumente sind weitestgehend textbasiert und es existieren nur ausgewählte Bilder. Die zugehörigen Beschreibungen sind meist in so genannter Ingenieursprache abgefasst und werden in sehr viele Fremdsprachen übersetzt. Dabei können Informationen verloren gehen oder gar verfälscht werden.

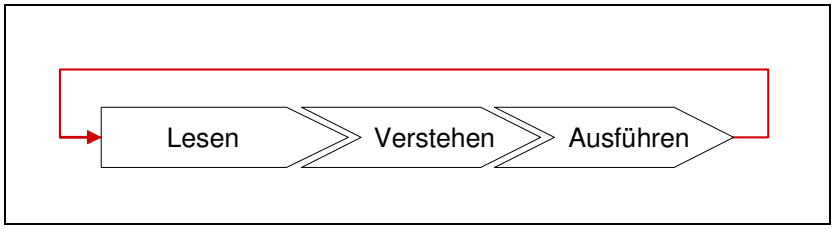


Abbildung 2.13: Zyklus im Arbeitsprozess

Der heutige Arbeitsprozess enthält sehr viele Zyklen, bei denen es immer wieder darum geht, die Anleitung zu lesen, zu verstehen (dementsprechend korrekt zu interpretieren) und dann die Arbeit auszuführen. Je nach Gedächtnisleistung des Anwenders und der Komplexität des einzelnen Arbeitsschritts, muss der Zyklus für denselben Arbeitsschritt unter Umständen mehrfach wiederholt werden. (vgl. Abbildung 2.13).

2.2 Wissensbasis für die technische Dokumentation

2.2.1 Einführung und Definition

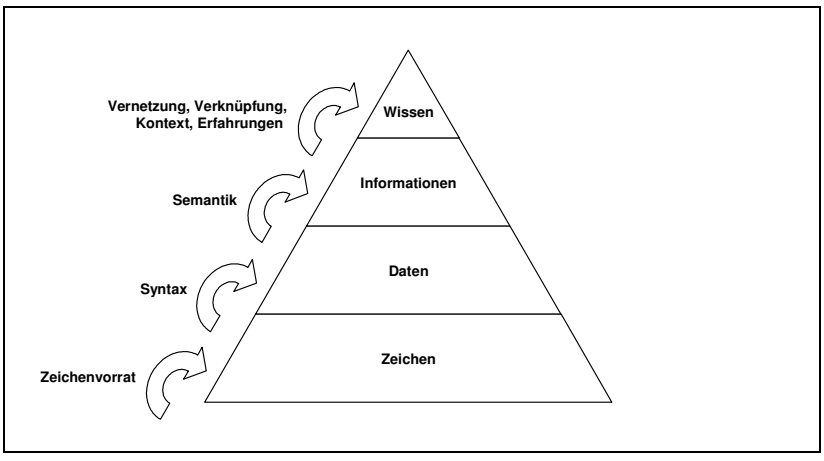


Abbildung 2.14: Wissenspyramide

In der Literatur gibt es zahlreiche Definitionen des Begriffs "Wissen". Allgemein ist Wissen die Gesamtheit der Kenntnisse, die eine Person auf einem bestimmten Gebiet besitzt [dud04]. Darüber hinaus ist Wissen die einzige Ressource, welche sich durch Gebrauch vermehrt

[pro99]. Für die vorliegende Arbeit soll die Definition des Begriffs aus der Sichtweise der Informations- und Kommunikationswissenschaften in Anlehnung an die Semiotik[12] gelten. In der Semiotik wird ein hierarchischer Ansatz verfolgt, bei dem Zeichen, Daten, Informationen und Wissen anhand von vier Ebenen gegeneinander abgegrenzt werden. Die Abbildung 2.14 zeigt die Herleitung des Wissensbegriffs über die Hierarchie der einzelnen Begriffe [pro99]. Die Daten bestehen aus einer Sequenz von nicht zerlegbaren Zeicheneinheiten. Die Informationen bestehen aus reinen Fakten. Wissen schließt die Interpretation der Informationen ein. Implizite Informationen werden durch Berücksichtigung von Kontext(wissen), Regeln und Heuristiken in eine explizite Wissensform überführt [lie05].

Das Wissen kann in einer Wissensbasis hinterlegt werden, welche aus erhobenen Fakten besteht, die anhand von Axiomen[13] in Zusammenhänge gebracht werden. Durch verschiedene formale Notationen wird das faktische oder explizite Wissen formalisiert. Mit geeigneten Methoden kann aus der Wissensbasis geschlussfolgert werden. Unter Berücksichtigung der Definition (2) enthalten technische Dokumentationen unterschiedlichste Informationen über ein technisches Produkt. Um diese Informationen durch ein geeignetes Modell beschreiben zu können, sollen die Informations- bzw. Wissensarten, die in der technischen Dokumentation vorkommen, im Folgenden kategorisiert werden.

Im Rahmen der Erstellung von technischen Dokumentationen helfen die Informationen aus der Wissensbasis, den manuellen Aufwand zu reduzieren, und tragen zur Qualitätssicherung bei. Einerseits können allgemeingültige Informationen hinterlegt werden, die durch den automatisierten Erstellungsprozess bei Bedarf zu einer Anleitung hinzugefügt werden, andererseits beschreiben die Informationen ein konkretes Bauteil bzw. das gesamte Produkt. Damit das erlangte Wissen auch von automatisierten Prozessen verarbeitet werden kann, muss es entsprechend klassifiziert und systematisch erfasst werden. Typischerweise besteht das Wissen, welches für die Erstellung technischer Dokumentationen benötigt wird, nicht allein aus produktbezogenen Daten, sondern aus Regeln, Erfahrungen und vernetzten Informationen, die verteilt in einem Unternehmen entstehen. Die Erfassung, Ablage und Bereitstellung dieses Wissens muss untersucht und für die Prozesse der technischen Dokumentation definiert werden.

2.2.2 Wissensformen allgemein

Um Wissen weitergeben zu können, muss dieses Wissen, welches sich zunächst nur im Gehirn einer einzelnen Person existiert, in einer geeigneten Art und Weise dargestellt werden. Ein Überblick über mögliche Darstellungsformen findet sich in Kapitel 2.3. Im Folgenden wird ein Überblick über die unterschiedlichen Wissensformen gegeben und eine mögliche Zuordnung zu einer Darstellungsform untersucht. Dabei besteht eine Affinität zwischen Wissens- und Darstellungsformen, aber eine eindeutige Zuordnung ist nicht möglich [bal97]:

Modalitätsspezifisches Wissen

Bei dieser Wissensform wird die Herkunft aus den Sinnesmodalitäten deutlich. *Visuelles Wissen* beschreibt Form und Farbe, *auditives Wissen* beschreibt Geräusche und Töne, das *olfaktorische Wissen* den Geruch und das *taktile Wissen* beschreibt, wie sich ein Gegenstand anfühlt. Im Kontext mit technischer Dokumentation interessiert hier vor allem das visuelle Wissen, welches am adäquatesten durch eine Abbildung dargestellt wird.

[12] Die Lehre von den Zeichen.
[13] Als Axiom bezeichnet man eine Aussage, die grundlegend ist und nicht begründet werden kann bzw. muss.

Räumliches Wissen
Diese Wissensform beschreibt räumliche Anordnungen. Oft werden Informationen zu räumlichen Zusammenhängen visuell aufgenommen, aber auch über alle anderen Sinnesorgane können räumliche Informationen wahrgenommen werden. Ähnlich wie visuelles Wissen lässt sich räumliches Wissen am besten durch Lagepläne oder kartographische Abbildungen darstellen. Allerdings erfordern zweidimensionale Abbildungen, die einen komplexen Zusammenhang oder Aufbau eines Produkts darstellen sollen, ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen des Betrachters. Abhilfe schaffen hier entweder textuelle Zusatzbeschreibungen oder dreidimensionale Darstellung gestützt auf Virtual Reality bis hin zu immersiven Technologien wie Augmented Reality. Diese helfen die Realität sehr detailliert zu visualisieren.

Konzeptuelles Wissen
Diese Form bildet abstraktes Wissen ab, welches aus Konzepten und deren Verknüpfungen untereinander besteht. Konzeptuelles Wissen wird über Schemata abgebildet, welche helfen wiederkehrende Erfahrungen zu verallgemeinern und unvollständige Informationen zu verarbeiten. Wird bspw. in einer Reparaturanleitung beschrieben, dass eine bestimmte Schraube zu lösen ist, kann der Servicetechniker aufgrund seiner Erfahrung die konzeptionelle Verbindung zu dem entsprechenden Werkzeug herstellen. Am besten lässt sich konzeptuelles Wissen durch Sprache bzw. durch Text ausdrücken. Sofern diese Wissensform das Zusammenwirken zweier konkreter Gegenstände ausdrückt, kann alternativ als Darstellung auch eine Abbildung eingesetzt werden.

Prozedurales Wissen
Bei prozeduralem Wissen geht es um Handlungswissen oder die Fertigkeiten, wie man etwas macht. Dazu zählen insbesondere die chronologische Abfolge von Handgriffen und Handlungen. Ein zeitlicher Ablauf kann als Liste oder auch als Workflow-Diagramm dargestellt werden. Diese Wissensform ist in der technischen Dokumentation bei Montage- und Demontagevorgängen stark verbreitet.

Zu prozeduralem Wissen zählt auch das *implizite Wissen*, welches eine Handlung beschreibt, aber nur schwer oder gar nicht durch Sprache oder Abbildungen dargestellt werden kann. Bspw. beherrscht fast jeder die motorischen Handgriffe des Schnürsenkelbindens, aber kaum jemand kann den Handlungsablauf beschreiben oder gar aufzeichnen. Die natürliche Form der Vermittlung des impliziten Wissens ist somit das Vormachen und Nachmachen sowie die mehrfache Wiederholung der zu vermittelnden Handlung. Als Darstellungsform eignen sich hier insbesondere dynamische Medien (vor allem Animationen), bei denen die Bewegung der Informationsträger ist.

Mentale Modelle
Ein mentales Modell dient dazu, sich einen komplexen Vorgang oder ein schwieriges Konzept anhand eines vereinfachten Denkmodells vorzustellen. Mentale Modelle bilden nicht die Realität ab, erlauben aber Rückschlüsse auf die Funktionsweise und auf kausale Zusammenhänge. Ein mentales Modell aus dem Physikunterricht ist die Vorstellung, ein Stromkreislauf sehe aus wie ein Wasserkreislauf. Physikalisch ist diese Vorstellung zwar falsch, aber sie macht Vorgänge anschaulich und richtige Vorhersagen möglich. So wird es bspw. möglich, vorherzusagen dass eine Unterbrechung des Stromkreislaufes bewirkt, dass ein angeschlossener Verbraucher ausgeht. Eine allgemeingültige Empfehlung, wie ein mentales Modell dargestellt werden soll, kann nicht gegeben werden, sondern muss situationsabhängig erfolgen.

Wissensbasierte Systeme
Ein wissensbasiertes System ist ein rechnergestütztes System, welches eine Wissensbasis auf eine konkrete Situation anwendet und die daraus abgeleiteten Schlüsse benutzergerecht aufbereitet. Sie werden bevorzugt zur Lösung von Problemen eingesetzt, die auf algorithmischem, imperativem Wege nur schwer realisierbar sind [bro02]. Die wichtigsten Bestandteile eines wissensbasierten Systems sind die Wissensbasis, die Inferenzkomponente und die Benutzerschnittstelle. In der Wissensbasis wird Wissen in deklarativer Form abgelegt. Dazu gehören Fakten, Regeln, generisches und anwendungsfallbezogenes Wissen. Dieses Wissen wird von der Problemlösungstechnik der Inferenzkomponente verarbeitet, um daraus neue Fakten und Regeln abzuleiten.

2.2.3 Wissensformen in der technischen Dokumentation

Im vorigen Unterkapitel wurden bereits die verschiedenen Wissensformen nach [bal97] aufgeführt und allgemein beschrieben. An dieser Stelle sollen nun diese Wissensarten auf die technische Dokumentation adaptiert werden und eine geeignete Modellierung dieser Wissensarten vorgeschlagen werden. Folgende Auflistung ist angelehnt an die Arbeiten von [ans95] und [ste99].

Topographisches Wissen
Die Topographie beschreibt die räumliche Lage von Komponenten zueinander. Unter den Ordnungsrelationen innerhalb einer Topographie können diverse Ausprägungen unterschieden werden [ste99]. Im Rahmen von technischen Dokumentationen zählen zu den relevanten Beziehungen die Ortsrelation und die verbindungstechnische Relation. Mit Hilfe dieser Relationen lässt sich aus der Produktstruktur die Abfolge der Arbeitschritte ableiten. In [ste99] findet sich eine vollständige Auflistung aller Beziehungen von Bauteilen untereinander.

Strukturelles Wissen
Unter der Struktur versteht man den (inneren) Aufbau einer Komponente oder eines Systems [dud04]. Einerseits kann die Struktur dem topographischen Aufbau entsprechen (vgl. Topographisches Wissen), andererseits werden im strukturellen Wissen auch die verwendeten Materialen mit ihren spezifischen Eigenschaften abgelegt. Materialeigenschaften werden gemein hin als Metadaten modelliert.

Kinematisches Wissen
Die Kinematik ist die Lehre der Beschreibung einer Bewegung im Raum [dud04]. Neuartige technische Dokumentationen bedienen sich als zusätzlichen Informationsträger der Bewegung (vgl. Definition (4)). Um nicht jeden Bewegungsablauf bei der Erstellung einer Anleitung neu generieren zu müssen, kann einem Bauteil oder einer Funktionsgruppe eine spezifische Bewegung zugewiesen werden.

Elektrisches und elektronisches Wissen
Unter dem Sammelbegriff "Elektrik" werden alle elektrischen und elektronischen Einrichtungen eines Systems bzw. Produkts verstanden [dud04]. Diese Wissensart beschreibt die technischen Kenngrößen elektrischer bzw. elektronischer Bauelemente. Da die Anzahl der Steuergeräte und die Varianten der darauf installierten Software in technischen Produkten stetig zunimmt [saa03], müssen hier auch Hardware- bzw. Softwareversionen verwaltet werden.

Thermodynamisches Wissen
Die Thermodynamik (Wärmelehre) ist die Lehre der Energie, ihrer Erscheinungsformen und deren Fähigkeit, Arbeit zu verrichten [dud04]. Beim Gebrauch technischer Produkte wird häufig ein Teil der Energiezufuhr in thermische Energie umgewandelt. Dabei können sich Bauteile, Baugruppen oder sogar das ganze Produkt stark erhitzen. Aus diesem Grund ist es notwendig, für jedes Bauteil in den Produkt- bzw. Metadaten festzuhalten, ob diese Komponente eine Gefahrenquelle für den Anwender darstellen kann. Abgeleitet aus dieser Wissensart können Sicherheitshinweise, Verhaltensregeln und Warnungen automatisiert erstellt werden [ans95], [ans98].

Wissen zum Zustand der Instanz
Um der Hauptanforderung, nach einer zu hundert Prozent genauen Anleitung gerecht zu werden, müssen für den Erstellungsprozess Informationen über die jeweilige Instanz eines Produkts zur Verfügung stehen. Bei komplexen Produkten können diese Informationen meist aus einer zentralen Datenbank beim Hersteller abgerufen werden. Alternativ müssen fehlende Informationen durch den Anwender während der Erstellung ergänzt werden.

Wissen über die Welt
Das so genannte Weltwissen beschreibt allgemeines Wissen, Kenntnisse und Erfahrungen über Umwelt und Gesellschaft. Mit Hilfe des Wissens über die Welt lassen sich neue Tatsachen einordnen und entsprechende Handlungen ableiten, auch wenn detaillierte Informationen fehlen. Für technische Dokumentationen spielen hier vor allem Erfahrungen und Kenntnisse aus dem Arbeitsalltag des Anwenders eine Rolle. Im Falle der Reparaturanleitung gilt es demnach das Wissen eines Mechanikers zu berücksichtigen bzw. in die Erstellung einer Anleitung einfließen zu lassen. Diese Wissensart ist unabhängig vom zu beschreibenden Produkt und kann somit nicht im Produktmodell abgelegt werden. Für das Weltwissen muss eine gesonderte Datenbasis angelegt werden, auf welche der Erstellungsprozess zugreifen kann. Mit Hilfe dieses Wissens können zusätzliche Informationen in eine Anleitung integriert werden, ohne dass der Autor diese Informationen explizit angegeben hat.

2.2.4 Zusammenfassung

Dieses Kapitel hat gezeigt, dass eine Vielzahl an unterschiedlichen Daten, Informationen und schließlich auch Wissen im Gebiet der technischen Dokumentation besteht. Jede Wissensform soll nun in den Konzepten dieser Arbeit berücksichtigt werden, um das Wissen abzulegen und für den Erstellungsprozess zur Verfügung zu stehen.

2.3 Darstellungsformen

Statische Medien	Dynamische Medien
Text, Bild, Illustration, Grafik, Fotografie, etc.	Film, Animation, Hörtext, Sound, Virtual Reality, Augmented Reality, etc.

Tabelle 2.1: Einteilung in statische und dynamische Medien

Der Einsatz unterschiedlicher Medien setzt Kenntnisse über deren Eigenschaften und spezifischen Vor- und Nachteile voraus. In der Literatur herrscht keine Einigkeit darüber, welches Medium das Beste ist. Oft spielen nicht allein die spezifischen Merkmale des jeweiligen Mediums eine Rolle bei der Entscheidung über deren Einsatz in der technischen Dokumentation, sondern auch die Kosten- und Aufwandsabschätzungen bei der Erstellung und der Darstellung sind zu berücksichtigen.

Medien können allgemein in statisch (zeitunabhängig, diskret) und dynamisch (zeitabhängig) unterschieden werden (vgl. Tabelle 2.1). Heute ist Text kombiniert mit Bildern, Illustrationen und Grafiken das vorherrschende Medium in der technischen Dokumentation. Aber auch dynamische Medien werden schon vereinzelt in unterschiedlichen Anwendungsbereichen eingesetzt. Hier sind vor allem die Medien Virtual und Augmented Reality zu betrachten, da diese einen hohen Nutzen für die Informationsbereitstellung bieten [blu03], [fri04]. Bei der Nutzung dieser Medien sollen Informationen visualisiert werden, um eine engere Verknüpfung zur Realität herzustellen. Darüber hinaus haben dynamische Medien den Vorteil, dass der Monitor, an dem nur ungern Texte gelesen werden, von den statischen Medien entlastet wird und dass dem Betrachter Blicksprünge zwischen Text und Bild erspart werden können [bal97].

2.3.1 Text-/Bildkombinationen

Die Sprache ist eine sehr potente Darstellungsform, in die prinzipiell alle Wissensformen übersetzt werden können. Die kognitiv und kommunikativ unentbehrliche Funktion der Sprache besteht aber in der Darstellung abstrakter Begriffe und Zusammenhänge über zeitliche und räumliche Grenzen hinweg [bal97]. Text ist heutzutage das Standardmedium in Bildung und Beruf, weil es nahezu von jeder Person sowohl in der Verarbeitung (Informationsaufnahme) als auch in der Erstellung beherrscht wird. Darüber hinaus ist die Verteilung von Texten auch über weite Strecken jederzeit möglich. In Form eines Ausdrucks auf Papier kann ein Text an jeden beliebigen Ort transportiert oder mit Hilfe moderner Kommunikationsmedien wie Telefax oder E-Mail in Echtzeit ausgetauscht werden.

In der technischen Anleitung kommen so genannte anleitende Texte zum Einsatz, die prozedurales Wissen vermitteln sollen. Dabei muss ein anleitender Text folgende Aspekte enthalten [bal97]:

- **Ziele**
  Das Handeln ist zielgerichtet. Dem Anwender muss klar werden, wozu sein Handeln dient.
- **Bedingungen**
  Jede Handlung wird durch bestimmte Ausgangsbedingungen indiziert.
- **Konsequenzen**
  Jede Handlung ändert den Ausgangszustand. Der neue Zustand gibt Aufschluss über den Erfolg der Handlung.
- **Störungen**
  Häufige Fehler, deren Ursache und Behebung sollten in einem anleitenden Text enthalten sein.

Der Vorteil von Text ist die Vermittlung abstrakter Konzepte, Zusammenhänge oder auch schlecht visualisierbarer Informationen. Dem gegenüber stehen Verständlichkeitsprobleme, Sprachprobleme oder die mögliche Mehrdeutigkeit von Text. Für das korrekte Verständnis von Texten sind Vorkenntnisse in der Sprache, in welcher der Text verfasst ist, und unter Umständen auch im kulturellen Umfeld des Verfassers notwendig. Um diesem Umstand in

der technischen Dokumentation entgegen zu wirken, werden häufig Fotografien, Illustrationen und schematische Darstellungen als Ergänzung zum Text eingesetzt. Dennoch kann dadurch die notwendige und kostenintensive Übersetzung der Beschreibungstexte nicht eingespart werden.

Der Begriff "Bild" bzw. "Abbild" umfasst eine Vielzahl an Arten von Bildern. Allgemein lässt sich sagen, dass ein Bild eine nichtsprachliche, visuelle Darstellungsform ist. Bilder sind durch verschiedene Techniken gestaltete Oberflächen, die dem Betrachter ähnliche visuelle Informationen anbieten wie ein entsprechender Realitätsausschnitt. Eine Übersicht und eine Kategorisierung der verschiedenen Bildarten finden sich in [bal97]. Bilder dienen generell zur Veranschaulichung von Texten. Als Leitmedium sind statische Bilder nicht geeignet, da aus ihnen Prozesse und Arbeitsabfolgen nur schlecht ersichtlich werden können. Die Vorteile von Bildern sind die Möglichkeit, Objekte zu identifizieren, eine Übersicht und eine räumliche Orientierung herzustellen sowie Ausgangssituationen und Resultate darzustellen. Hingegen können Bilder keine Aussagen verknüpfen oder negieren, Handlungen zeigen oder abstrakte Begriffe vermitteln.

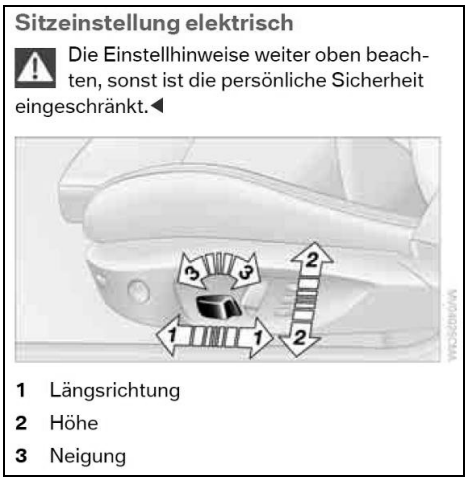


Abbildung 2.15: Text-/Bildkombination aus einer Betriebsanleitung [bmw04b]

Die Abbildung 2.15 zeigt einen aus Auszug aus einer Betriebsanleitung, welcher die Einstellung der Sitze erklärt. Man sieht, dass Text und Bild nicht ausreichen, um die Bewegung sowohl des Schalters als auch des Sitzes darzustellen. Als Hilfsmittel werden hier Pfeile und Nummern verwendet, um einerseits die notwendige Korrelation zwischen Text und Bild herzustellen und andererseits die Bewegung anzudeuten. Würde man hier ein dynamisches Medium, bspw. eine Animation, zur Informationsdarstellung einsetzen, könnte auch die direkte Verknüpfung zwischen der Aktion (Manipulation des Knopfes) und der Reaktion (Bewegung des Sitzes) dargestellt werden. Bei interaktiven Anleitungen wäre zusätzlich ein erhöhter Lerneffekt zu erzielen.

Die Kombination aus Texten und Bildern bildet für die technische Dokumentation eine wirtschaftlich sinnvolle Darstellungsform, um textuell Funktionen und Prozesse zu beschreiben und mit Hilfe von Bildern den Text zu minimieren. Somit kann auch Übersetzungsaufwand eingespart werden. Allerdings können mit einer Text-/Bildkombination keine dynamischen Inhalte und somit keine Bewegungen dargestellt werden. Ist die Bewegung wesentlicher Informationsträger, muss man dynamische Medien (vgl. Tabelle 2.1) einsetzen.

2.3.2 Animationen und Virtual Reality

Virtual Reality (VR) ist eine neue Dimension der graphischen Simulation. In diesem Zusammenhang sind auch die Begriffe "Virtuelle Umgebung (Virtual environment)", "künstliche Realität" oder "Cyberspace" gebräuchlich. Diese Technologie erlaubt es dem Nutzer, eine vom Computer generierte, dreidimensionale Welt zu erleben und zu manipulieren, wobei alle menschlichen Wahrnehmungssinne angesprochen werden können [bis92]. VR entwickelte sich aus damals noch mechanischen Simulatoren zur Ausbildung von Kampffliegern im Zweiten Weltkrieg und den Forschungen auf dem Gebiet der "Computergrafik" der frühen sechziger Jahre des letzten Jahrhunderts. Im Jahre 1965 veröffentlichte der Wissenschaftler und Visionär Ivan Sutherland die theoretische Grundlage für VR unter dem Titel "The Ultimate Display" [sut65]. Hier ein kurzer Auszug aus dem Originaltext:

> *"The ultimate display would, of course, be a room within which the computer can control the existence of matter. A chair displayed in such a room would be good enough to sit in. Handcuffs displayed in such a room would be confining, and a bullet displayed in such a room would be fatal. With appropriate programming, such a display could literally be the Wonderland into which Alice walked."*
>
> *Ivan Sutherland (1965)*

Ivan Sutherland verwendet für VR den Begriff "kopfmontiertes Sichtgerät", jedoch erst die Entwicklungen der letzten Jahre im Hardwarebereich erlauben eine Umsetzung von verschiedensten VR-Anwendungen. Notwendige Hardwarekomponenten sind bspw. ein Datenhandschuh, eine Shutterbrille[14] oder auch eine Monitorbrille (Head Mounted Display, HMD). Die VR-Technik wird insbesondere für Simulationszwecke eingesetzt und erforscht. Durch viele Anwendungsmöglichkeiten in der Medizin, der Physik, dem Militär oder der Luft- und Raumfahrttechnik hat sich Virtual Reality über die Jahre als ein wichtiges Werkzeug in Forschung, Entwicklung sowie Produktion etabliert und ist aus diesen Bereichen nicht mehr wegzudenken [kru93]. Für die technische Dokumentation ist VR eine interessante Technologie, da heute schon nahezu jedes Bauteil eines Produkts mit CAD-Programmen am Rechner konstruiert wird und somit dessen geometrische Repräsentationen virtuell vorhanden sind.

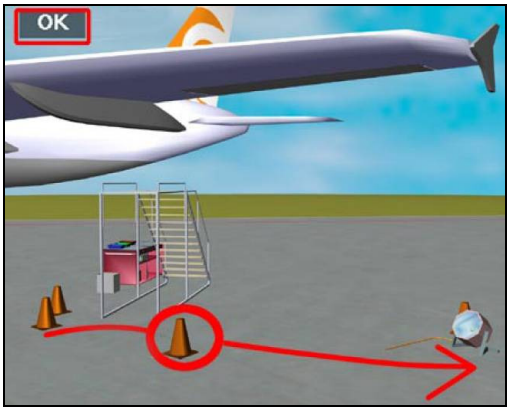


Abbildung 2.16: Trainingsumgebung für technisches Personal am Flugzeug [blu03]

[14] Spezialbrille, die aus zwei Flüssigkristallanzeigen besteht (je eine für das linke und rechte Auge), die elektronisch zwischen durchlässig und undurchlässig umgeschaltet werden können. Damit lässt sich wahlweise das linke oder das rechte Auge abdunkeln. Sie ermöglicht ein stereoskopisches Sehen an einem Computer-Monitor oder Fernsehgerät [wik06].

Insbesondere im Bereich Training kann Virtual Reality helfen, Wissen zu vermitteln, ohne dabei die Verfügbarkeit des Trainingsobjekts vorauszusetzen. Die Abbildung 2.16 zeigt die Trainingsumgebung für das Bodenpersonal auf einem Flugplatz, welches Servicearbeiten an einem Flugzeug trainieren sollen [blu03]. Bevor die Schüler am realen Objekt trainieren, können sie sich am Rechner die Abfolge der durchzuführenden Arbeiten aneignen und ggf. mehrfach wiederholen. Durch dieses orts- und zeitunabhängige Training werden kostenintensive Übungsstunden auf dem Flugplatz und am Flugzeug vermieden.

Auch im Bereich Instandsetzung wurden bereits erste Konzepte in der Automobilbranche umgesetzt und diese Prototypen vom Servicepersonal getestet. Den entscheidenden Vorteil birgt Virtual Reality dabei in der zur Verfügung gestellten Interaktion. Dem Mechaniker ist es möglich, seinen Blickwinkel und seine Position frei im Raum zu bewegen und sogar Bauteile auszublenden. Damit wird der Mechaniker in die Lage versetzt, quasi durch das Produkt hindurch zu schauen und so ein besseres Verständnis für dessen Technik und dessen Aufbau zu entwickeln.

Abbildung 2.17: Screenshot aus einer VR-basierten Reparaturanleitung

VR-Anwendungen stellen hohe Anforderungen an das System auf dem sie dargestellt werden. Hervorzuheben sind hier vor allem die Grafikkarte und der Grafikchip, deren Leistung für die jeweilige Anwendung entsprechend ausgelegt sein muss. Da heute schon in den Arbeitsumgebungen des Servicepersonals Computer zur Verfügung stehen, deren Rechenleistung aber für VR zu gering ist, stellen Animationen eine interessante Alternative dar. Animationen zeichnen sich dadurch aus, dass sie ebenfalls auf den virtuellen Daten (insbesondere auf den CAD-Modellen) des zu beschreibenden Produkts aufbauen. Zwar fehlt Animationen die Möglichkeit der Interaktion mit der Szene, aber gerade die fordert auch in hohem Maße leistungsstarke Rechensysteme. Aus dem Internet sind Animationen heute nicht mehr wegzudenken. Mit deren Verbreitung steht derzeit eine Vielzahl an Abspielprogrammen auf nahezu jedem Rechner, meist als Erweiterung zum Internet Browser, zur Verfügung. Damit können auch heute schon Animationen in technischen Dokumentationen nahezu problemlos eingesetzt werden.

2.3.3 Mixed und Augmented Reality

Mixed Reality umfasst alle Ausprägungen, die durch die Kombination von realen und virtuellen Objekten erzeugt werden können. Augmented Reality (AR) ist eine Variante der Mixed Reality. Dabei existieren zwei Reinformen, in denen entweder nur reale oder nur virtuelle Objekte vorkommen. Dazwischen befinden sich die Mischformen Augmented

Reality, hier wird die Realität mit virtuellen Objekten angereichert, und Augmented Virtuality, bei welcher die virtuelle Welt um reale Gegenstände erweitert wird. Die Abbildung 2.18 aus [mil94] veranschaulicht die Einordnung dieser Begriffe.

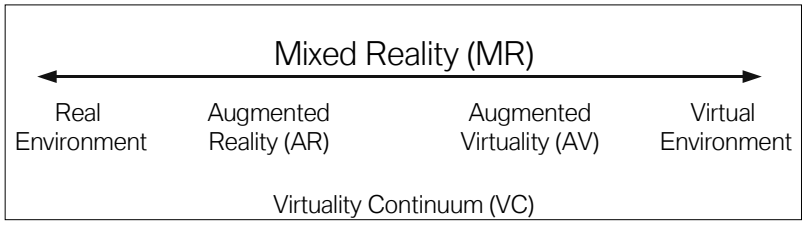


Abbildung 2.18: Das Virtual Continuum nach [mil94]

Während bei einer Virtual Reality Umgebung der Anwender ganzheitlich in die virtuelle Welt eintaucht und die reale Welt nicht mehr wahrnehmen kann, gestattet AR die Kombination aus beiden Welten. Um dieses Ziel zu erreichen, wird bei AR die reale Welt mit virtuellen Objekten angereichert anstatt diese komplett zu ersetzen. Im Idealfall scheinen sowohl die virtuellen als auch die realen Objekte gleichberechtigt nebeneinander zu existieren [azu95]. Die Technologie "Augmented Reality" ist eine innovative Art der Mensch-Maschine-Interaktion mit großem Potenzial zur Unterstützung von industriellen Arbeitsprozessen. Bei dieser Technologie wird das Sichtfeld des Betrachters mit rechnergenerierten virtuellen Objekten angereichert, so dass Produkt- und Prozessinformationen intuitiv genutzt werden können [fri04].

Die Einsatzgebiete für AR werden nach [azu95] in folgende Bereiche eingeteilt:

- Medizinische Visualisierung
- Produktion, Wartung und Instandsetzung
- Kommentieren und Visualisieren
- Bewegungsplanung von Robotern
- Unterhaltung
- Training, Steuerung und Zielführung im Militärwesen

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich unter anderem mit AR-basierten technischen Dokumentationen und kann somit dem Einsatzgebiet "Wartung und Instandsetzung" zugeordnet werden. Die Abbildung 2.19 zeigt einen Auszug aus einer derartigen Reparaturanleitung.

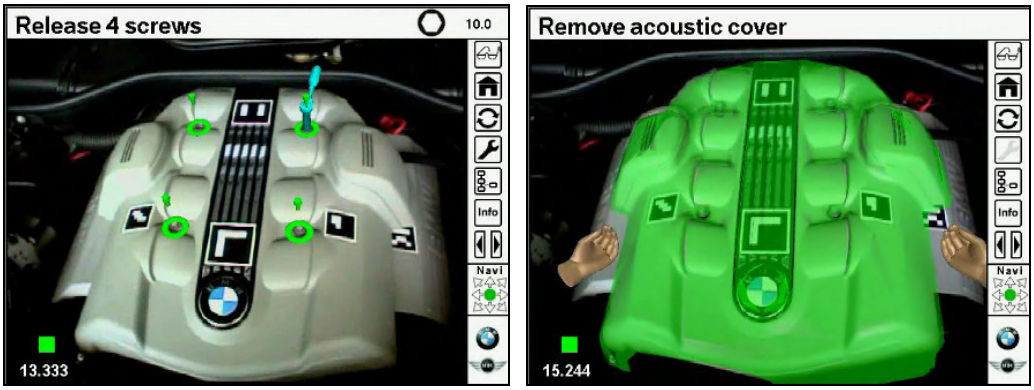


Abbildung 2.19: Beispiel für eine Augmented Reality basierte Reparaturanleitung

Mit Augmented Reality kann der Arbeitsprozess sequentiell gestaltet werden, indem der Servicetechniker über ein geeignetes Display, welches Informationen in sein Sichtfeld einblendet, Schritt für Schritt durch den Arbeitsprozess geführt wird. Die Reparaturanleitung der Zukunft soll den Servicetechniker sowie seine weiterhin notwendige Ausbildung nicht ersetzen, sondern ihn anleiten, die einzelnen Arbeitsschritte fachgerecht, lückenlos und in der korrekten Reihenfolge auszuführen.

Derzeit existieren verschiedene Arbeitsgruppen und Forschungsprojekte, welche sich mit Fragestellungen im Rahmen von Augmented Reality auseinander setzen. Prototypisch wurden bereits Demonstratoren in der Medizin (vgl. bspw. in den Arbeiten von Figl [fig01] oder Schwald [sch02]), in der Archäologie (vgl. Vlahakis [vla02]), und in der Konstruktion (vgl. Fiorentino [fio02]) umgesetzt. Der Ansatz, AR in Produktions-, Wartungs-, Instandsetzungs- und Trainingsanleitungen einzusetzen, entstand bereits in den frühen 90er Jahren des letzten Jahrhunderts. Manuelle Produktionsprozesse werden in der Arbeit von Caudell und Mizell [cau92] beschrieben und mit der Instandsetzung von Kopierern beschäftigten sich Feiner und Seligmann in [fei93]. Die ersten Ansätze für den Einsatz von AR im Automobilbereich entstammen der Arbeit von Reiners [rei98], welcher den Einbau des Schlosses in eine Fahrzeugtür beschreibt.

Das Leitprojekt ARVIKA setzte sich mit AR zur Unterstützung von Arbeitsprozessen in Entwicklung, Produktion und Service für komplexe technische Produkte und Anlagen auseinander [arv03]. Durch die visuelle Überlagerung realer Objekte mit virtuellen Objekten erlauben AR-Techniken im Sinne einer erweiterten Realität das situationsgerechte Agieren in realen Arbeitsumgebungen [fri04]. Auf den Ansätzen und Ergebnissen aus dem ARVIKA Projekt wurde das Forschungsprojekt ARTESAS aufgesetzt. Das Ziel von ARTESAS war die Erforschung und Erprobung von AR-Basistechnologien für den Einsatz im industriellen Serviceumfeld. Die Schwerpunktthemen waren instrumentierungsfreie Trackingverfahren und nutzergerechte AR-Geräte [art06].

2.4 Erstellungsprozesse

Die Erstellung von Dokumentationen, Anleitungen oder Präsentationen ist Gegenstand unterschiedlichster Arbeiten in verschiedenen Domänen. Der klassische Autorenprozess ist dadurch gekennzeichnet, dass der Autor als Person den Mittelpunkt des Prozesses darstellt und auch die komplette Verantwortung von der Informationsbeschaffung über die Erstellung bis hin zur Publikation trägt. Dieser überwiegend manuelle Prozess birgt viele Risiken und besteht zum Großteil aus wiederkehrenden Arbeitsschritten. Dadurch entsteht in vielen Anwendungsgebieten der Wunsch nach Automatisierung [abz04a]. Das Ziel dieser Automatisierung ist es, einem Computersystem wiederkehrende Schritte zu übertragen und somit die Erstellung schneller und kostengünstiger auszuführen. Ein Zusatznutzen der Automatisierung ist die implizite Qualitätssicherung durch das System.

2.4.1 Klassischer Autorenprozess

Zu einem definierten Zeitpunkt im Produktentstehungsprozess werden heute die technischen Dokumentationen auf Basis des zu diesem Zeitpunkt gültigen Produktstandes erstellt. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um einen Prototyp oder ein Produkt aus der Vorserie. Eine spätere Überarbeitung der Dokumente erfolgt nur in Einzelfällen, so dass die Dokumentationen nicht immer hundertprozentig zum realen Produkt passen. Für die vorliegende Arbeit wurde der Prozess für die Erstellung einer technischen Dokumentation auf der Basis von [juh02] und [wet03] in vier Phasen untergliedert (vgl. Abbildung 2.20). Je nach Komplexität des Produkts müssen die Phasen in ihrem Umfang und ihrer Intensität angepasst werden.

Vorbereitung
In der Vorbereitungsphase müssen so viele Informationen wie möglich im Voraus gesammelt und intensiv genutzt werden. Oft wird dabei auf schon vorhandene Dokumentationen zurückgegriffen sowie die grobe Einteilung übernommen und idealerweise aktualisiert. Um auch auf möglichst viele Informationen aus der Produktentstehung zurückgreifen zu können, müssen Pflichten- und Lastenhefte analysiert werden (vgl. Abbildung 2.1). Neben weiteren schriftlichen Dokumenten, die schon während der Entwicklung entstanden sind, werden viele Informationen lediglich mündlich in persönlichen Gesprächen zwischen Entwicklern und Redakteuren weitergegeben [sch04b].

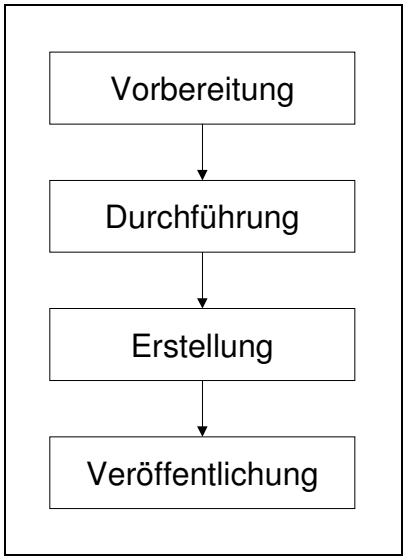


Abbildung 2.20: Phasen im Autorenprozess

Um letzte fehlende Informationen zu erhalten, müssen in dieser Phase erste Untersuchungen gemacht werden, um die Art und den Aufwand der späteren Erstellung abzuschätzen. Das Produkt selbst ist meist die wichtigste Informationsquelle [sch04b]. Dazu werden sowohl reale als auch virtuelle Prototypen analysiert und die durchzuführenden Arbeiten geplant. Handelt es sich um ein neues Produkt, ist der Umfang der zu erstellenden Dokumentation entsprechend höher. Bei Modellüberarbeitungen oder Varianten eines schon existierenden Produkts, müssen lediglich die Unterschiede herausgearbeitet und die betroffenen Dokumente überarbeitet werden.

Abhängig von der späteren Darstellungsform müssen an dieser Stelle auch Geometriedaten aus dem Konstruktionsprozess übernommen und entsprechend aufbereitet werden. Da die Bauteile bei der Entwicklung sehr detailliert beschrieben werden, haben die vorhandenen CAD-Modelle meist ein sehr hohes Datenvolumen. Für die Darstellung in einer Animation genügen vereinfachte und datenreduzierte Modelle. Im Rahmen der Vorbereitung muss dieser Prozess der Datenaufbereitung durchgeführt werden.

Durchführung
Damit der technische Redakteur in der Lage ist, die Funktionsweise bzw. die Instandsetzung eines Produkts korrekt beschreiben zu können, empfiehlt es sich, dass der Redakteur das Produkt ausprobiert bzw. zerlegt. Als Grundlage dienen ihm hierbei Dokumente des Vorgängermodells oder von Produkten derselben Baureihe. Darüber hinaus können hier auch die Entwicklungsingenieure zu Rate gezogen werden, um Fragestellungen zu klären oder sogar notwendige Änderungen einzusteuern.

Erstellung
Nachdem der Redakteur die Durchführungsphase erfolgreich abschließen konnte, ist er nun in der Lage die Dokumentation zu erstellen. Dazu gehört ein Manuskript, welches die Inhalte (vgl. Kapitel 2.1.2) des Dokuments festlegt. Dieses Manuskript wird dann mit dem endgültigen Text, notwendigen Grafiken und Abbildungen sowie technischen Daten befüllt. Das Manuskript legt auch fest, welche Teile neu ausgearbeitet werden müssen und welche Teile aus schon bestehenden Dokumenten übernommen werden können.

Kommen neben den klassischen Darstellungsformen wie Text und Bild auch dynamische Medien zum Einsatz, so muss der technische Redakteur das Manuskript durch ein detailliertes Drehbuch erweitern, damit ein Animationsspezialist in der Lage ist, die korrekten Bewegungen zu visualisieren. Wichtig sind dabei die Festlegung der Bauteile, die als Darsteller fungieren, und deren Bewegungen.

Veröffentlichung
Den Abschluss des Autorenprozesses bilden eine Verifikation der Inhalte und die Veröffentlichung der erstellten Dokumente. Die Verifikation wird unterstützt durch eine linguistische Software zur Überprüfung der Rechtschreibung, der Grammatik, des Stils, der Konsistenz, der Terminologie und der verwendeten Abkürzungen. Abschließend wird das Dokument in mehrere Sprachen übersetzt. Je nach Publikationsform muss das Dokument gedruckt oder über einen Server zur Verfügung gestellt werden.

2.4.2 Die Methode "Funktionsdesign"

Im vorangegangenen Unterkapitel wurde der klassische Autorenprozess vorgestellt, welcher in dieser Form in der Praxis über Jahre gewachsen ist. An dieser Stelle soll nun eine Methode vorgestellt werden, welche sich zum Ziel gesetzt hat, die Erstellung technischer Dokumentationen zu standardisieren und dem technischen Redakteur eine konkrete Hilfestellung für seine Arbeit zu geben. Diese Methode nennt sich "Funktionsdesign" und ist eine Standardisierungs-, Strukturierungs- und Schreibtechnik für die technische Dokumentation. Mit dem Funktionsdesign steht eine Methode bereit, um die Konsistenz und die Standardisierung der Dokumente zu sichern und um kontrollierte Sprachen zu entwickeln. Kontrollierte Sprachen sind meist sehr restriktiv und lassen nur sehr eingeschränkte Satzbaumuster und einen minimierten Wortschatz zu [sch04b].

Aus wissenschaftlicher Sicht liegt dem Funktionsdesign eine sprechakttheoretische Basis zugrunde. Die Sprechakttheorie ist eine sprachanalytische Richtung der Linguistik [aus62]. Sie basiert auf der Annahme, dass man mit einer Aussage nicht nur Sachverhalte beschreiben oder Tatsachen behaupten kann, sondern dass sprachliche Äußerungen dazu dienen, echte kommunikative Handlungen zu vollziehen, um damit insbesondere einen Einfluss auf seine Umwelt auszuüben. Die Bewertung einer Äußerung ist also nicht mehr nur beschränkt auf die Wahrheitswerte wahr oder falsch. Die Äußerung wird bewertet je nach dem ob sie erfolgreich war oder nicht [sch04b].

Das Funktionsdesign stellt ein Baukastensystem vordefinierter Elemente bereit, mit dem die kommunikativen Aufgaben bewältigt werden können. Jede Ebene lässt sich im gewünschten Detaillierungsgrad regeln. Auf oberster Ebene stehen die Informationsprodukte (Dokumente). Zu den wichtigsten Vertretern gehören hier Betriebsanleitung, Ersatzteilkatalog und Service-Handbuch (vgl. Kapitel 2.1.1). Die Auswahl eines Informationsprodukts legt schon im Voraus die Funktion und das Layout des Dokumentes fest. Somit nimmt das Funktionsdesign Einfluss auf logische und didaktische Strukturen sowie Satzbau und Stil. Zusätzlich sind die Informationsprodukte in ihrer visuellen Gestaltung konsistent, weil eine durchgängige

Nutzung von Design, Typografie, Layout und Grafikeinsatz erreicht wird. Langatmige Textpassagen werden durch kurze, in ihrer Funktion eindeutige Sätze ersetzt. Der Anwender kann auf einen Blick erkennen, welche Funktion (z.B. Voraussetzung, Handlung, Resultat) eine Textpassage hat. Ein Unternehmen kann durch die konsistente Terminologie anfallende Übersetzungskosten reduzieren.

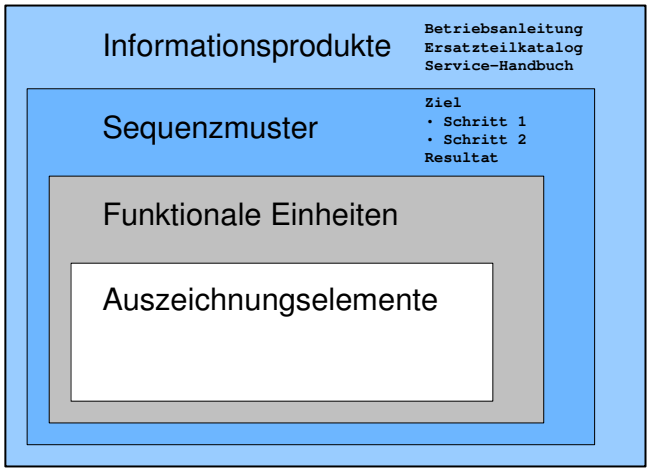


Abbildung 2.21: Ebenen der Methode "Funktionsdesign" [sch04b]

Die Abbildung 2.21 veranschaulicht die Ebenen des Funktionsdesigns und zeigt, dass sich auf der nächsten Ebene das so genannte Sequenzmuster befindet. Dieses legt bspw. Handlungssequenzen und die Darstellung von Warnhinweisen, Tabellen sowie Abbildungen fest. Funktionale Einheiten bilden die Basiseinheit, wenn es darum geht, einen bestimmten kommunikativen Zweck im Dokument zu erfüllen. Dazu zählen unter anderem Bedingungen, Gefahrenstufe, Resultate und Ziele. Auszeichnungselemente dienen als Signale, welche die dargestellte Handlung eindeutig kennzeichnen. Zu den wichtigsten Auszeichnungselementen gehören standardisierte Symbole bzw. Hervorhebungen. Somit gibt das Funktionsdesign einen strikten Rahmen für die Erstellung und die Darstellung technischer Dokumentationen vor. Die Möglichkeiten des Autors werden durch strikte Regeln eingegrenzt, um eine qualitativ hochwertige, modulare Textproduktion zu ermöglichen [sch04b].

Im Ansatz der vorliegenden Dissertation sollen die Standardisierung und die Strukturierung für neuartige technische Dokumentationen sowie deren Erstellung erarbeitet werden. In Anlehnung an das Funktionsdesign wird ebenfalls die Struktur der Dokumente modularisiert und anschließend für einen automatisierbaren Erstellungsprozess vorbereitet. Dabei wird dem Autor eine konkrete Hilfestellung für seine Arbeit und für die Qualitätssicherung der technischen Dokumentation zur Verfügung gestellt.

2.4.3 Autorenumgebung und Erstellung der Abläufe

Eine Autorenumgebung umfasst alle Prozesse und Systeme, auf welche der Redakteur während seiner Arbeit Zugriff haben muss. Zu dieser Umgebung zählen die vorbereitenden Tätigkeiten, die Erstellung und Pflege der Arbeitsabläufe sowie das Bearbeiten der einzelnen Informationseinheiten. Einen Teil dieser gesamthaften Autorenumgebung bildet das Autorensystem, das vorrangig für die Erstellung und Pflege der Informationen benötigt wird. Im Allgemeinen versteht man unter einem Autorensystem ein System, mit dessen Hilfe ein Informationsprodukt bzw. eine Multimediaanwendung durch Verwendung einer leicht nachvollziehbaren Methodik erstellt werden kann. Dabei sind meist keine Programmierkenntnisse

von Nöten, stattdessen dominiert eine einfache und benutzerfreundliche Vorgehensweise in Kombination mit einer grafischen Oberfläche [bro02]. In diesem Zusammenhang spricht man auch von "graphischer Programmierung", die wie im Beispiel von *BlueJ* in der Lehre eingesetzt wird. Somit ist es möglich die objektorientierte Programmierung mit *Java* durch Visualisierung der Objekte und Klassen grafisch verständlich zu machen [koe96], [blu06].

Abhängig vom Anwendungsfall werden unterschiedliche Paradigmen zugrunde gelegt, mit Hilfe derer die Informationen visualisiert werden. Das bekannteste und einfachste Paradigma ist eine rein textuelle Beschreibung der Informationen. Dem gegenüber stehen laut [mir06] vier graphische Ansätze, die sich in unterschiedlichen gängigen Anwendungen wieder finden. Der seitenbasierte Ansatz ordnet die Informationen in einer sequentiellen Reihenfolge an und orientiert sich dabei am Aufbau eines Buches. Bekannt ist dieser Ansatz auch aus dem Programm *Microsoft PowerPoint* bei dem eine Informationseinheit in eine Folie gekapselt ist. Autorensysteme welche sich mit der Erstellung von Animationen beschäftigen, nutzen meist eine Anordnung der Informationen entlang einer Zeitachse. Dieses Paradigma orientiert sich an der Erstellung eines Films und dessen Drehbuch. Ein weiterer Ansatz ist das Mindmap-Modell, bei dem lose Informationen schnell sortiert und auch umgruppiert werden können. Dieses Paradigma wird meist genutzt, um im Rahmen eines Brainstormings Begriffe zueinander in Bezug zu setzen. Ein sehr weit verbreiteter Ansatz, um Informationen und deren Verknüpfungen miteinander zu visualisieren ist die Verwendung von Graphen. Mit ihnen lassen sich eine Vielzahl an Informationen und deren Verknüpfung miteinander darstellen. Eine Einführung in die Graphentheorie im Hinblick auf ihre Verwendung für die Erstellung technischer Dokumente findet sich im Kapitel 2.5.6.

Paradigma / *Kriterien zur Beurteilung*	textuell	Seiten	Zeit	Mindmap	Graph
Allgemeine Kriterien					
Schnelle Erfassbarkeit des Ablaufs	0	–	0	–	+
Intuitiver Ansatz/Herangehensweise	+	–	0	–	+
Übersichtlichkeit umfangreicher Abläufe	0	–	0	–	0
Bearbeitung von Abläufen					
Arbeitsschritte einfach an- und umordnen	–	–	0	–	+
Arbeitsschritte logisch verknüpfen	–	–	0	–	+
Darstellung paralleler Abläufe	–	–	+	–	+
Darstellung detaillierter Arbeitsschritte	+	–	0	+	0

Tabelle 2.2: Vergleich der Paradigmen nach [mir06]

Alle hier aufgeführten Paradigmen wurden im Rahmen der Arbeit von [mir06] näher betrachtet und miteinander verglichen. Die Tabelle 2.2 fasst den Vergleich hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für die Erstellung von Arbeitsabläufen innerhalb technischer Anleitungen zusammen. Insbesondere bei den anwendungsbezogenen Kriterien gewinnt die Graphendarstellung, da hier die Arbeitsabläufe am besten abgebildet werden können. Auch in der Literatur wird die Modellierung von (Geschäfts-)Prozessen und Abläufen vornehmlich mit Hilfe der Graphentheorie vorgeschlagen [pet62], [tur96], [rei03], [han05].

Es existieren sowohl kommerzielle als auch open-source[15] Produkte für die Erstellung von Workflows. Ein Vertreter aus der Reihe der open-source Programme ist Enhydra JaWE[16] (Java Workflow Editor). Dieser Editor wird vornehmlich eingesetzt um Dateien im XPDL[17] Format zu bearbeiten bzw. anzuzeigen. Ein sehr bekanntes und weit verbreitetes kommerzielles Werkzeug zur Modellierung von Geschäftsprozessen ist ARIS[18] der Firma IDS Scheer. Mit ARIS lassen sich Prozesse im Unternehmen graphisch darstellen und daraus Optimierungen ableiten.

2.4.4 Existierende Autorensysteme für 3D-Anwendungen

Für neuartige technische Dokumentationen ist neben der Erstellung der Abläufe für die durchzuführenden Arbeitsschritte und deren logischer Verknüpfung auch die Erstellung der Inhalte, insbesondere der Animationen, zu betrachten. Auf dem Markt ist eine Vielzahl von 3D-Autorensystemen erhältlich, welche sich nach [dac04] in unterschiedliche Gruppen einteilen lassen:

- **Texteditoren**
  Zu dieser Gruppen zählen sämtliche Texteditoren (z.B. *Microsoft Notepad*) mit denen offengelegte ASCII-Formate (z.B. VRML97[19]) bearbeitet werden können

- **Integrierte Programmierumgebungen**
  Mit ihnen (z.B. *Eclipse*[20], *JBuilder*[21]) können imperative 3D-Grafikformate editiert werden.

- **Syntaxgesteuerte Programmeditoren**
  Für die Erstellung von VRML97-Dateien steht bspw. das Programm *VrmlPad*[22] der Firma Parallel Graphics zur Verfügung. Anwendungen dieser Kategorie bieten unter anderem automatische Codevervollständigung, Syntaxkontrolle und Fehlererkennung.

- **XML-Editoren**
  Da bspw. das Datenformat X3D[23] auf XML basiert, können auch XML-Editoren für die Erstellung von dreidimensionalen Szenen genutzt werden. Ein Vertreter dieser Gruppe ist das Programm *XML-Spy*[24].

[15] Meint im Sinne der Open Source Definition, dass es jedem ermöglicht wird, Einblick in den Quelltext eines Programms zu haben, sowie die Erlaubnis zu haben, diesen Quellcode auch weiterzugeben oder zu verändern.
[16] http://www.enhydra.org/workflow/jawe/index.html
[17] Die XML Process Definition Language (XPDL) ist eine XML-basierte Sprache zur Beschreibung von Geschäftsprozessen.
[18] http://www.ids-scheer.de/produkte.htm
[19] VRML bedeutet Virtual Reality Modeling Language und ist eine Beschreibungssprache für 3D-Szenen sowie deren Geometrien, Ausleuchtungen, Animationen und Interaktionsmöglichkeiten [dae02]. Nähere Informationen finden sich unter http://www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/ISO-IEC-14772-VRML97/
[20] http://www.eclipse.org/
[21] http://www.borland.com/de/products/jbuilder/
[22] http://www.parallelgraphics.com/products/vrmlpad/
[23] Extensible 3D, kurz X3D, ist eine 3D-Modellierungssprache, die in der Syntax auf XML oder auf VRML aufbauen kann. X3D bildet den offiziellen Nachfolger des VRML-Standards und ist als ISO-Standard spezifiziert: http://www.web3d.org/
[24] http://www.altova.com/products/xmlspy/xml_editor.html

- **3D-Modellierungswerkzeuge**
  Programme wie *Autodesk Maya*[25], welche primär in der Film- und Fernsehindustrie und bei der Erstellung von Grafiken für Computer- und Videospiele eingesetzt werden, erlauben meist auch den Export von VRML97 oder gerenderten Animationen.

- **Multimedia-Autorensysteme**
  Ein Vertreter dieser Gruppe ist bspw. die Anwendung *Macromedia Director*[26]. Sie dient zum Erstellen komplexer, interaktiver, multimedialer Internet-, DVD-, CD-ROM- und Kiosk-Anwendungen. Director gilt als der Quasi-Standard für komplexe Multimedia-Produktionen.

- **Visuelle Werkzeuge für VRML97 / X3D**
  Wenn man VRML97- bzw. X3D-Dateien nicht textbasiert erstellen will, kann man auf Programme wie *Vizx3d*[27] zurückgreifen. Mit Hilfe grafischer Werkzeuge, verschiedener Szeneansichten und Positionierungshilfen erlauben diese Programme die schnelle Erstellung dreidimensionaler Szenen.

- **Visuelle Werkzeuge für proprietäre 3D-Formate**
  Zu dieser Gruppe zählen die erfolgreichsten Autorenwerkzeuge für 3D-Technologien, darunter *Cult3D*[28] und *Virtools*[29]. Diesen Werkzeugen liegt meist ein eigenes, nicht veröffentlichtes und binäres Datenformat zugrunde. Das Autorenwerkzeug Virtools ist ein leistungsfähiges Tool im Bezug auf visuelle und komplexe Verhaltensmodellierung. Die vordefinierten und wieder verwendbaren Verhaltensbausteine erlauben eine schnelle Erstellung von 3D-Szenen.

- **Autorenwerkzeuge aus Forschungsprojekten**
  Zu diesen Werkzeugen, zählen meist Prototypen, die im Rahmen von Forschungsprojekten entstanden sind. Ein Beispiel dieser Gruppe ist das 3D-Autorenwerkzeug *Alice*[30], welches primär zur Vermittlung erster Programmierkenntnisse für Schüler und Studenten an der Carnegie Mellon University eingesetzt wird [con00].

Diese Übersicht veranschaulicht, dass viele verschiedene Autorenwerkzeuge erhältlich sind und dennoch existiert derzeit keine einheitliche Autorenumgebung für die Erstellung technischer Dokumentation basierend auf Animationen, Virtual oder Augmented Reality. Nur mit hohem manuellem Aufwand könnten Schritt für Schritt Animationen erstellt werden, die später zu einer technischen Dokumentation zusammengebaut werden müssten.

2.4.5 Erstellung von Augmented Reality Anwendungen

Da diese Arbeit im Rahmen eines Projektes angesiedelt ist, welches sich primär mit Serviceanleitungen für Automobile basierend auf Augmented Reality beschäftigt, soll in diesem Unterkapitel ein besonderes Augenmerk auf die Aktivitäten rund um die Erstellung von AR-Anwendungen gelegt werden. Da sich immer mehr Arbeitsgruppen und Forschungsprojekte mit der technischen Machbarkeit von Dokumentationen und Anleitungen basierend auf Augmented Reality auseinander setzen, kommt der Erstellung für den späteren Produktiv-

[25] http://www.autodesk.de/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=6871843
[26] http://www.adobe.com/de/products/director/
[27] http://www.vizx3d.com/
[28] http://www.cult3d.com/
[29] http://www.virtools.com/
[30] http://www.alice.org/

einsatz eine immer höhere Bedeutung zu. Um den manuellen Aufwand bei der Erstellung zu minimieren wurde von MacIntyre et. al. das "Designer's Augmented Reality Toolkit (DART)" vorgestellt [mac03]. Die Ansätze dieser Arbeit bauen auf dem Programm *Macromedia Director* auf und legen somit das zeitbasierte Paradigma zugrunde (vgl. Kapitel 2.4.3). Dasselbe Paradigma verwendet auch der Ansatz aus [gue03], auf dessen Grundlage das Autorensystem "MARS (Mobile Augmented Reality System)" entstand. Auch hier werden die Informationseinheiten mit Hilfe eines Zeitstrahls in Bezug zueinander gesetzt. Eine Kombination aus textbasierter und graphischer Erstellung (angelehnt an UML) wird in der Arbeit von Ledermann vorgestellt [led05]. Mit Hilfe der entwickelten Scriptsprache "APRIL (Augmented Reality Presentation and Interaction Language)" können AR-Anwendungen sehr flexibel erstellt werden, jedoch bedarf es XML-Kenntnissen, da APRIL auf XML aufgebaut ist. Sowohl die Ansätze aus [mac03], [gue03] als auch aus [led05] sind der Unterhaltungsdomäne (vgl. Kapitel 2.3.3) zuzuordnen.

Auch im Bereich Produktion, Wartung und Instandsetzung sind diverse Projekte und Arbeitsgruppen angesiedelt, die sich mit der Erstellung von AR-Inhalten auseinander setzen. In der Arbeit von Zauner [zau03] wird ein intuitives Vorgehen zur Erstellung von Aufbauanleitungen anhand von Möbelstücken vorgestellt. Diese Arbeit ist im Rahmen des AMIRE[31] Projekts entstanden [ami04], dessen Inhalte unter anderem die Definition und die Implementierung eines Softwaresystems waren. Dieses System soll es einem Laien ermöglichen AR-Anwendungen umzusetzen, ohne detaillierte Kenntnisse über den Aufbau und die Funktionsweise der darunter liegenden Technologie zu besitzen. Das schon in Kapitel 2.3.3 vorgestellte Forschungsprojekt ARVIKA beschäftigte sich ebenfalls mit der Thematik der Erstellung von AR-Inhalten. Das Konzept aus ARVIKA basiert auf einer Zweiteilung des Autorenprozesses. Zunächst werden die Animationen mit dem so genannten AR-Editor erstellt und relativ zur realen Umgebung platziert. Die so entstehenden einzelnen Informationseinheiten (AR-Szenen) müssen anschließend mit dem Workflow-Editor in Bezug zueinander gesetzt werden. Für den Workflow-Editor dient die Anwendung *Visio* von Microsoft als Grundlage. Mit einer eigens definierten Visio-Schablone können Arbeitsabläufe erstellt werden, welche unter Verwendung des AR-Browsers[32] angezeigt werden können [fri04].

2.4.6 Prozessmanagement

An dieser Stelle soll der Begriff "Prozess" eingeordnet und soweit wie für die vorliegende Arbeit von Belang beschrieben werden.

Ein erwünschtes Ergebnis lässt sich effizienter erreichen, wenn Tätigkeiten und dazugehörige Ressourcen als Prozess geleitet und verwaltet werden [fis03]. In Anlehnung an [han05] soll folgende Definition gelten:

> **Definition (5): Prozess**
> *"Ein Prozess besteht aus einer Menge miteinander verknüpfter Aktivitäten, welche in einer bestimmten Reihenfolge ausgeführt werden müssen, um ein zuvor festgelegtes Ziel zu erreichen."*

Darüber hinaus wird in primäre und sekundäre Prozesse unterschieden. Ein primärer Prozess dient unmittelbar der Zielerreichung und auf ihn kann nicht verzichtet werden. Hingegen fällt

[31] http://www.amire.net/
[32] ActiveX-Komponente, welche die AR-Kernfunktionalitäten Tracking, Rendering und Interaktion zur Verfügung stellt [fri04].

unter die Bezeichnung "sekundär" ein unterstützender Prozess, der für die Zielerreichung lediglich optional ist. Um einen Prozess formal zu beschreiben, verwendet man eine Prozessdefinition, welche aus den abzuarbeitenden Aktivitäten, deren Reihenfolge, den Vor- und Nachbedingungen sowie einer zugehörigen Rollenverteilung besteht.

Modellierung
Das Ziel der Prozessmodellierung ist es, einen meist schon etablierten Prozess graphisch darzustellen. Dadurch lassen sich alle beteiligten Aktivitäten, Akteure sowie Ressourcen identifizieren und in Beziehung zueinander setzen. Oft wird schon allein durch die graphische Darstellung der Handlungsbedarf für die Prozessoptimierung aufgezeigt. Ein als Graph modellierter Prozess hilft, die Effizienz zu steigern und die Ressourcen effektiver einzusetzen. Des Weiteren kann so der Prozess für eine Automatisierung vorbereitet werden.

Optimierung
Alle Prozesse in einem Unternehmen unterliegen einem stetigen Wandel. Da sich die Randbedingungen, die Eingangs- und Ausgangsgrößen sowie die Prozessverantwortlichen eines Prozesses durch Umstrukturierungen im Unternehmen oder durch Optimierungen in anderen Bereichen ändern können, muss jeder Prozess an diese veränderten Parameter angepasst werden. Die Optimierung eines Prozesses folgt dabei dem in Abbildung 2.22 dargestellten Vorgehensmodell [rei03].

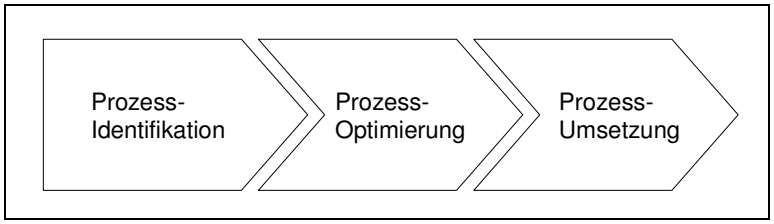


Abbildung 2.22: Vorgehensmodell zur Optimierung von Geschäftsprozessen

Schritt 1: Prozessidentifikation
Zunächst muss der Prozess, den es zu optimieren gilt, identifiziert und geforderte Prozessziele festgelegt werden. Meist ist schon ein Prozess vorhanden, der angepasst werden muss. Daraus lassen sich Defizite und Probleme aus der heutigen Vorgehensweise ableiten. Schließlich müssen die Rahmenbedingungen fixiert werden, um das Prozessumfeld abzugrenzen.

Schritt 2: Prozessoptimierung
In der Optimierungsphase werden der Aufbau und der Ablauf der Ist-Prozesse detailliert modelliert und bezüglich der Effizienz bewertet, um Schwachstellen zu lokalisieren. Daraus lassen sich neue Strukturen und Leistungen für den Soll-Prozess erarbeiten und festlegen.

Schritt 3: Prozessumsetzung
Um den neuen Prozess einzuführen, muss ein Meilensteinplan aufgestellt werden, der es erlaubt, den überarbeiteten Prozess im Unternehmen sukzessive einzuführen. Ergeben sich bei der Einführung des neuen Prozesses Schwierigkeiten, muss der Soll-Prozess während der Umsetzungsphase entsprechend angepasst werden.

Automatisierung
Unter Automatisierung versteht man für gewöhnlich die Übertragung einer Arbeit vom Menschen auf einen Automaten. Die auszuführende Arbeit verläuft dabei nach einem immer wiederkehrenden Muster, bei welchem sich die Eingangsparameter ändern können. In der

Informatik spricht man bei diesem Muster von einem Programm. Im folgenden Unterkapitel wird auf die Automatisierung im Zusammenhang mit der Erstellung von Dokumentationen näher eingegangen.

2.4.7 Automatisierte Erstellung

Der Wunsch nach Automatisierung bei der Erstellung technischer Dokumentationen wird in unterschiedlichen Anwendungsbereichen und mit verschiedenen Ansätzen verfolgt. Die folgende Auflistung zeigt unterschiedliche Ziele auf, die durch einen automatisierten Erstellungsprozess erreicht werden sollen:

Überprüfen der Konsistenz
Durch einen Automatismus soll überprüft werden, ob die Information, die Terminologie und deren logischer Zusammenhang in einer technischen Dokumentation korrekt sind. Da Systeme, welche bspw. die konsistente Verwendung von technischen Begriffen überprüfen, nur mit Hilfe eines hinterlegten Wörterbuches arbeiten, fehlt die Funktion die Konsistenz zwischen Texten und graphischen Darstellungen sicherzustellen.

Erstellung von Text aus logischen Beschreibungen
Ausgehend von einer speziellen logischen Beschreibungssprache, kann ein System in die Lage versetzt werden, automatisiert korrekte Texte und Handlungsanweisungen zu generieren. Der Ansatz des Systems *DiDoLog*[33] hat gezeigt, dass das Modell einer Komponente (bspw. das Bremssystem eines Flugzeugs) die Basis für die Erstellung einer technischen Anleitung sein kann. Somit wird garantiert, dass der Text und das Modell der Komponente konsistent sind [bar97].

Erstellung bzw. Auswahl von Bildern aufgrund von Texten
In [har02] wird ein Ansatz vorgestellt, der mit Hilfe eines Moduls, welches in der Lage ist, die natürliche Sprache zu verstehen bzw. signifikante Ausdrücke im Text zu identifizieren, die entsprechende Abbildung aus einer Bibliothek auswählt.

Erstellung von konsistenten Text-/Bildkombinationen
In [nov05] wird eine Vorgehensweise vorgestellt, welche es erlaubt, für Texte und zugehörige Illustrationen eine gemeinsame Datenbasis zugrunde zu legen. Die Basis bildet dabei eine auf Prolog basierende Beschreibungssprache. Sie enthält Informationen über den Zustand der einzelnen Bauteile und deren Beziehungen untereinander. Ein zweiter Ansatz in [nov05] zeigt die Erstellung von Texten auf Basis des CAD-Modells einer Komponente. Dieser Ansatz wird auch in [blu02] vorgestellt. Hierbei handelt sich um ein System, welches in der Lage ist, aus vorhandenen Produktdaten und bereits bestehenden Anleitungen neue Dokumentationen zu erstellen. Aus der dreidimensionalen Repräsentation des Produkts (CAD-Modell) wird zunächst über verschiedene Algorithmen eine Sequenz für die zu erstellende Ausbauanleitung errechnet. Diese wiederum muss um weitere textuelle Informationen erweitert werden. Schlussendlich enthält das System eine Komponente, welche es erlaubt, die erstellte Anleitung virtuell zu validieren.

Die hier vorgestellten Ansätze widmen sich ausschließlich der Problematik bei Texten und Bildern. Im Zusammenhang mit dynamischen Medien müssen weitere Fragestellungen bearbeitet werden bzw. die obigen Ansätze müssen auf neuartige technische Dokumentationen übertragen werden. Insbesondere die Ansätze aus [blu02] und [nov05] zeigen, dass das Produktmodell und die Produktstruktur eine gute Ausgangsbasis für den Erstellungsprozess

[33] http://www.rvs.uni-bielefeld.de/research/MultiM/DIDA.html

technischer Dokumentationen bieten, da hier das Produkt vollständig beschrieben wird. Da allerdings heute noch nicht alle Informationen im Produktdatenmanagement erfasst werden, die für den automatisierten Erstellungsprozess technischer Dokumentationen benötigt werden, muss das Produktmodell entsprechend erweitert werden. Im folgenden Kapitel wird deshalb das Produktdatenmanagement näher betrachtet.

2.5 Datenmanagement

2.5.1 Einführung

Das Kapitel "Datenmanagement" gibt einen Überblick über die vorherrschenden Methoden und Werkzeuge in diesem Bereich. Im Hinblick auf die Vielzahl an Informationen, welche innerhalb der technischen Dokumentation verwaltet und weitergegeben werden müssen, werden hier Ansätze diskutiert, die für den Erstellungsprozess neuartiger technischer Dokumentationen von Relevanz sind.

Unter Produktdatenmanagement (PDM) bzw. Product-Lifecycle-Management (PLM) versteht man die Verwaltung und Steuerung aller Daten, Informationen und Dokumente, welche während des Lebenszyklus eines Produkts entstehen. Motiviert wird diese methodische Verwaltung durch die Komplexität des Produktentwicklungsprozesses moderner technischer Produkte. Entlang dieses Prozesses sind verschiedene Abteilungen und Arbeitsgruppen beteiligt, die jederzeit auf die aktuellen Produktdaten zugreifen können müssen. Die Abbildung 2.1 zeigt die verschiedenen Phasen im Lebenszyklus eines Produkts und die in diesen Phasen entstehenden Dokumente, welche das Produkt ganzheitlich beschreiben.

Jede dieser Phasen benötigt Daten aus den vorherigen Abschnitten des Produktlebenszyklus. Des Weiteren entstehen auch in jeder Phase neue Produktdaten, die weiter gegeben werden müssen. Angesichts der zunehmenden Informationsmengen innerhalb des Lebenszyklus kommt dem gezielten Zugriff auf bereits gespeicherte Daten große strategische Bedeutung zu. Eine effiziente Verwaltung der Produktdaten wird dadurch unabdingbar, die gleichzeitig ein hohes Rationalisierungspotenzial im Unternehmen beinhaltet.

2.5.2 Produktmodell und Produktstruktur

In der Literatur beschreibt das Produktmodell die strukturierte Zusammenfassung aller Daten, die zu einem Produkt in einem Unternehmen vorhanden bzw. zu dessen Beschreibung erforderlich sind [kra99]. An dieser Stelle soll insbesondere darauf hingewiesen werden, dass ein Produktmodell nicht nur aus geometrischen, sondern auch aus technischen, technologischen, strukturellen, prozessbezogenen und funktionalen Informationen bestehen kann [pah93]. Die Daten aus Konstruktion, Entwicklung und Produktion können um alle spezifischen Merkmale eines Produkts bezüglich seines gesamten Produktlebenszyklus, d.h. Vertrieb, Nutzung, Wartung und Recycling (vgl. Abbildung 2.1), erweitert werden [and89].

Den Kern des Produktmodells bildet die Produktstruktur. Diese dient als Integrationselement zwischen einem spezifischen und einem generischen Teilbereich des Modells. Zum spezifischen Teil gehören die internen Modelle, welche die einzelnen Produktentwicklungsstadien informationstechnisch beschreiben (Anforderungsmodell, Konzeptmodell, Prozessmodell und Qualitätsmodell). Die externen Komponenten des Produktmodells dienen der Informationsbereitstellung und der Steuerung des Produktentwicklungsprozesses. Diese repräsentieren Randbedingungen, Restriktionen sowie neuste Erkenntnisse und Prinzipien über das Produkt und dessen Komponenten, wie sie durch den Markt, den Anwender und die Konkurrenz definiert werden [spu97].

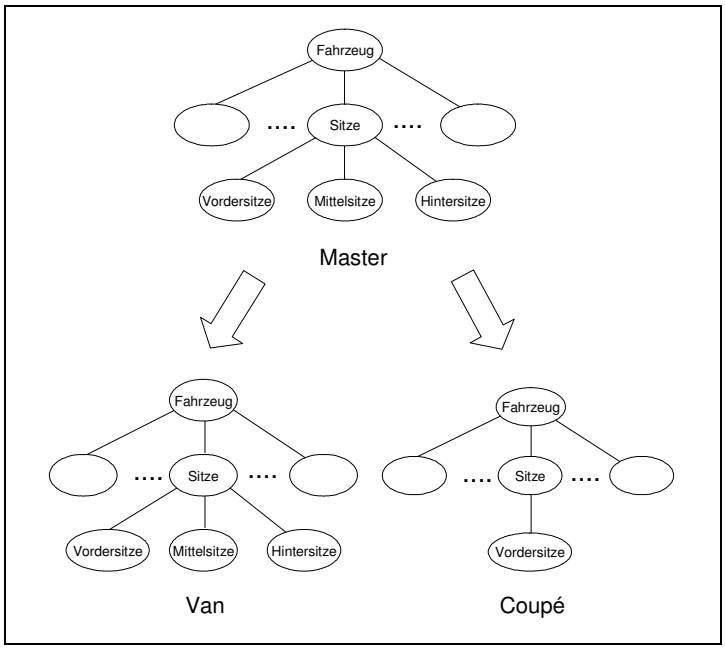


Abbildung 2.23: Produktstruktur mit Master und Instanzen nach [sch02a]

In der Produktstruktur gelangt man ausgehend von den Rohmaterialien über Vorstufen einer Komponente zu Einzelteilen oder Zusammenbauten zu Gruppen und schließlich zum gesamten Produkt. Die Produktstruktur dient somit vorrangig zur hierarchischen Untergliederung eines Produkts [sch02a]. Die Abbildung 2.23 zeigt die generische Produktstruktur eines Fahrzeuges mit der Gruppe "Sitze" und den Zusammenbauten "Vordersitze", "Mittelsitze" und "Hintersitze". Abgeleitet von dieser Masterstruktur können je nach Fahrzeugtyp (hier Van bzw. Coupé) unterschiedliche spezifische Produktstrukturen instanziiert werden.

Das Produkt kann als Ergebnis von Prozessen verstanden werden, wobei jedoch der Prozess in Anlehnung an die zu schaffenden Produkteigenschaften generiert werden muss. Die Generierung eines Prozessmodells sowie dessen Verknüpfung mit dem Produktmodell sind daher unabdingbar. Das Produktmodell ist die Basis für eine problemorientierte Bereitstellung von Informationen in den einzelnen Arbeitsgruppen. Das Prozessmodell gewährleistet die Kontrolle und Steuerung in einem effizienten und reibungslosen Entwicklungsablauf [spu97].

Das Prozessmodell beinhaltet sämtliche für den Geschäftsprozess der virtuellen Produktentwicklung relevanten Informationen. Hierzu gehören im Wesentlichen die durchzuführenden Aktivitäten oder Funktionen, der Informationsfluss, organisatorische Randbedingungen sowie die zur Umsetzung des Prozesses notwendigen Ressourcen. Entsprechend sind die Geschäftsprozesse in Partialmodelle untergliedert, die jeweils eine spezifische Sicht auf den Prozess repräsentieren [spu97].

2.5.3 Dokumentenmodell

Ebenso wie ein Produktmodell ein Produkt auf abstrakter Ebene beschreibt, kann ein Dokumentenmodell für die generische Beschreibung eines Dokuments bzw. einer Anleitung zum Einsatz kommen. Dadurch werden die Dokumente in logische Grundeinheiten unterteilt. Diese Kapselung ermöglicht die Wiederverwendung von Dokumentteilen und ganzen Dokumenten bei der Erstellung neuer Dokumente.

Eine beispielhafte Anwendung eines Dokumentenmodells findet sich im Projekt *MAVA*[34] der Universitätsbibliothek Stuttgart. Bei *MAVA* wird jedem Dokument ein generisches Modell zugrunde gelegt, welches einzelne Medientypen (Texte, Bilder, Ton, Animationen, etc.) in Beziehung zueinander setzt. Dies ermöglicht, statische und dynamische Medientypen (vgl. Kapitel 2.3) mit Hilfe geeigneter Operatoren zu synchronisieren [hau99], [fre03].

2.5.4 Einordnung der Begriffe "Metadaten" und "Produktdaten"

Der Begriff "meta" stammt aus dem Griechischen und bedeutet ursprünglich "neben, danach, mit". Metadaten werden daher als Daten über Daten definiert. Sie werden in unterschiedlichsten Zusammenhängen verwendet, dienen aber in den meisten Fällen dem Ziel der näheren Beschreibung eines Sachverhalts. Im Kontext mit dem Internet werden Metadaten als maschinenlesbare Informationen über elektronische Ressourcen oder andere Dinge bezeichnet [ber97]. Metadaten sind strukturiert und mit einem bestimmten Objekt assoziiert. Mit ihrer Hilfe stehen dem Nutzer Informationen über die Existenz und die Charakteristik des Objekts zur Verfügung [ste04].

Für die vorliegende Arbeit soll der Begriff "Metadaten" wie folgt definiert werden:

> **Definition (6): Metadaten**
> *"Metadaten beinhalten Informationen über das Produkt oder die Arbeitsweise der Anwender, die für die Erstellung technischer Dokumentationen benötigt werden. Die Produktdaten werden durch die Metadaten ergänzt bzw. beschreiben das Produkt aus der Sicht der technischen Dokumentation."*

Während sich die Produktdaten lediglich auf das konkrete Produkt beziehen und dessen Aufbau, Struktur und Funktionsweise beschreiben, beinhalten Metadaten zusätzlich Informationen, die primär produktunabhängig sind.

Im Zusammenhang mit neuartigen technischen Dokumentationen, bei denen vermehrt dynamische Medien zum Einsatz kommen, sind die wichtigsten Produktdaten die CAD-Modelle der Bauteile, welche in Summe die geometrische Repräsentation des Produkts darstellen. Ein Beispiel für produktunabhängige Metadaten sind die Parameter, welche das CAD-Modell beschreiben (Datenformat, Detaillierungsgrad, Dateigröße, etc.).

2.5.5 Anwendung von Metadaten

Metadaten bilden die Grundlage für Informationssysteme und damit verbundene Datenabfragen. Der Begriff "Metadaten" hat sich im Zusammenhang mit dem Internet stark verbreitet. Jedoch werden die zugrunde liegenden Konzepte schon seit langem eingesetzt. Ein typisches Beispiel sind Bibliothekskataloge, in denen Metadaten die vorhandenen Bücher beschreiben und die gezielte Suche nach einem bestimmten Buch unterstützen [sim05]. Üblicherweise kommen Metadaten z.B. die Aufgaben Ortsbestimmung, Dokumentation, Wertbestimmung und Auswahl zu. Diese Tätigkeiten können sowohl von Anwendern als auch von automatisierten Software-Agenten ausgeführt werden.

Heutzutage wird der Begriff vor allem im Kontext mit dem Internet verwendet. Metadaten stellen den Zugriff auf jegliche Ressource, die veröffentlicht wird, sicher. Die Dublin Core Meta Initiative (DCMI)[35] wurde mit dem Ziel ins Leben gerufen, ein einheitliches Vokabular

[34] http://www.ub.uni-stuttgart.de/ub/mava/devs/mava.phtml
[35] http://dublincore.org/

zur Beschreibung von Webressourcen zu erstellen [hil01], [dcm05]. Dabei wurden folgende Anforderungen an Metadaten definiert:

- **Einfache Erstellung und Wartung**
  Ein Satz von Metadaten soll so klein und einfach wie möglich gehalten werden, um auch Nichtspezialisten die Anwendung zu ermöglichen.

- **Allgemein verständliche Semantik**
  Das Auffinden und Verwerten von Informationen wird erschwert, dadurch dass Begriffe und Beschreibungen in verschiedenen Wissenschaften, Branchen und Regionen unterschiedlich verwendet werden. Ziel muss es sein, Metadaten mit genau definierter Bedeutung zu schaffen.

- **Internationale Gültigkeit**
  Metadaten sollen die mehrsprachige und multikulturelle Natur von Informationen berücksichtigen.

- **Erweiterbarkeit**
  Um den Gegensatz zwischen Einfachheit und Präzision bei der Beschreibung von Objekten zu entschärfen, muss die Spezifikation von Metadaten so gestaltet werden, dass es möglich ist, weitere Metadaten hinzuzufügen.

Metadaten werden verwendet, um jegliche Ressource mit Hilfe von Schlüsselwörtern zu finden. Soll die Suche von Webressourcen im Internet unterstützt werden, spricht man vom semantischen Web, bei dem jedes Objekt durch maschinenlesbare Informationen erweitert wird [ber02].

Eine Herausforderung ist allerdings noch die Erstellung und die Erfassung von Metadaten, da diese meist manuell eingegeben werden müssen. Auch hier gibt es verschiedene Ansätze und Konzepte. Einer dieser Ansätze wird in *CREAM* verfolgt. *CREAM* ist ein Rahmenwerk, welches es erlaubt, dokumentenbezogene Anmerkungen (insbesondere relationale Metadaten) zu erfassen und zu pflegen. Verschiedene Anwendungsgebiete von Metadaten finden sich in [ber02], [cas02], [han02], [sim05].

2.5.6 Darstellung als Graph

Die Graphentheorie begründet sich auf Leonhard Euler[36] und seiner Arbeit zur Lösung des "Königsberger Brückenproblems[37]" aus dem Jahre 1736. Heutzutage werden oftmals Systeme, die aus Objekten und Beziehungen zwischen diesen Objekten bestehen als Graphen modelliert. Die Objekte werden als Knoten und die Relationen als Kanten bezeichnet. Die Abbildung 2.24 zeigt einen einfachen Graphen mit 5 Knoten und 5 Kanten. Ein Graph stellt die Veranschaulichung von endlichen Relationen dar [sch00b]. Mit Hilfe eines Graphen lässt sich auch die Produktstruktur (vgl. Kapitel 2.5.2) darstellen. Dabei können die Kanten zusätzliche Informationen wie Verbauort oder Identifikation der Verwendungsinstanz tragen. Semantisch kann den Kanten dabei eine unterschiedliche Bedeutung zu kommen. Eine gebräuchliche Kantensemantik ist die Parent-Child-Relation, welche angibt, aus welchen

[36] Bedeutender Mathematiker des 18. Jahrhunderts.
[37] Mathematisches Problem, das Euler 1736 mit Methoden löste, die heute der Graphentheorie zugerechnet werden. Am konkreten Beispiel bezieht es sich auf die Stadt Königsberg und die Frage, ob es einen Rundweg gibt, bei dem man alle sieben Brücken der Stadt genau einmal überquert und wieder zum Ausgangspunkt gelangt. Euler bewies, dass es keinen solchen Rundweg geben kann [sch00b].

Bauteilen eine Baugruppe besteht [spu97]. Im Rahmen der technischen Dokumentation können die Kanten die Montage- und Demontagereihenfolge ausdrücken.

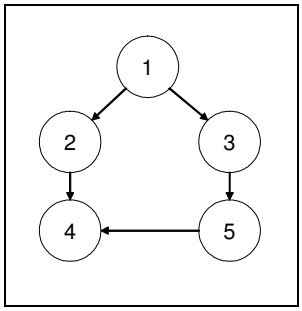


Abbildung 2.24: Graph mit 5 Knoten und 5 Kanten

Somit lässt sich das Prinzip der Graphen auf die Inhalte der technischen Dokumentation übertragen, um die Verknüpfungen der modularen Informationseinheiten (vgl. Kapitel 2.1.3) zu beschreiben. Die Verlinkung der einzelnen Arbeitsschritte bzw. Informationspakete kann durch einen gerichteten Graphen dargestellt werden. Diese Verlinkung ist dann die Grundlage, um ein abstraktes Modell für die Dokumente zu entwerfen. Ein so entstehendes Dokumentenmodell unterstützt den späteren Erstellungsprozess, indem gültige Kombinationen der Inhalte aus dem Modell abgeleitet werden können.

2.5.7 Semantische Netze und Ontologien

Unter einem semantischen Netz versteht man ein formales Modell aus Begriffen und Beziehungen, welches auf Basis der Graphentheorie aufgebaut ist. Die Begriffe werden dabei durch die Knoten dargestellt und die Kanten symbolisieren ebenfalls die Beziehungen zwischen den Begriffen. In einem solchen Modell können unterschiedliche Beziehungen enthalten sein, welche unterschieden werden in hierarchische Relationen, Synonymie[38], Antonymie[39] und Kausation[40] [bro02]. Mit Hilfe dieser Beziehungen lassen sich beliebige Netze aufbauen, welche gut geeignet sind für die Darstellung von Abhängigkeiten und komplexen Zusammenhängen zwischen Objekten [lie04].

Eine Anwendung für ein semantisches Netz ist die Erweiterung des Internets um maschinenlesbare Informationen, welche die Semantik der Inhalte formal beschreiben. Dies unterstützt die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine [ber02]. In Folge dessen können Suchanfragen effektiver bearbeitet werden, da nicht allein nach dem gesuchten Begriff recherchiert wird, sondern auch nach semantisch verwandten Inhalten.

Der Ablauf der Suche lehnt sich dabei an die Funktionsweise des menschlichen Gehirns an. Dieses kann Konzepthierarchien nicht beliebig aufbauen, sondern orientiert sich dabei immer an einer bestimmten Art und Weise. Diese Hierarchien müssen mit dem Weltausschnitt des Menschen zusammenpassen, den er durch seine Erfahrungen aufgebaut hat. Dies erlaubt ihm, beobachtete Phänomene zu erklären und einzuordnen. Die menschliche Wahrnehmung teilt dazu natürlich vorkommende Dinge in Grundeinheiten ein. Diese Grundeinheiten nennt man dann ontologisch [lie04].

[38] Inhaltliche Übereinstimmung von verschiedenen Wörtern oder Konstruktionen derselben Sprache [dud04].
[39] Bedeutungsmäßige Gegensätzlichkeit von Begriffen [dud04].
[40] Kausale Verknüpfung von Begriffen, Ereignissen und Zuständen [wik06].

Unter einer Ontologie versteht man in der Informatik ein formal definiertes System von Konzepten und Relationen. In ihr werden Dinge eingeordnet und miteinander in Verbindung gesetzt. Sie dient als Mittel zur Strukturierung und zum Datenaustausch [dud04]. Sie repräsentiert (verteiltes) Wissen eines bestimmten Anwendungsbereiches und bildet eine einheitliche Basis für die Lösung unterschiedlichster Problemstellungen [usc96]. In der Literatur werden für die Anwendung von Ontologien unterschiedliche Bereiche genannt. Diese Bereiche lassen sich grob in drei Kategorien einteilen [usc96]:

- **Kommunikation**
  Ontologien ermöglichen eine verteilte Kommunikation zwischen Anwendern mit unterschiedlichen Bedürfnissen und unterschiedlichem Kontext.

- **Datenaustausch**
  Viele Anwendungen von Ontologien beruhen auf der Tatsache, dass Anwender mit verschiedenen Softwaresystemen arbeiten und Daten austauschen müssen.

- **Softwareentwicklung**
  In der Softwareentwicklung werden Ontologien eingesetzt, um formale Beschreibungen eines Systems zu erstellen, die Zuverlässigkeit zu verbessern und die Wiederverwendbarkeit von Modulen zu gewährleisten.

2.5.8 Fazit

Das vorangegangene Unterkapitel 2.4 hat gezeigt, wie der Erstellungsprozess für technische Dokumentationen grundlegend aufgebaut ist. Dabei wurde festgestellt, dass eine mögliche Automatisierung nur dann möglich ist, wenn notwendige Erstellungsparameter im Produktdatenmanagement vorgehalten werden. Dies ist zum heutigen Zeitpunkt nur begrenzt der Fall, so dass die Inhalte der Produktstruktur entsprechend erweitert werden müssen.

Dazu wurden in diesem Unterkapitel grundlegende Konzepte und Methoden des Produktdatenmanagements vorgestellt und für den Einsatz beim Erstellungsprozess technischer Dokumentationen beleuchtet. Eine mögliche Erweiterung stellen spezifische Metadaten dar, durch welche die Bauteile eines Produkts annotiert werden können, um bspw. die Ausbaureihenfolge während einer Reparatur festzulegen. Die Produktstruktur stellt heute schon eine hierarchische Sicht auf das Produkt dar, so dass diese Struktur durch Erweiterung der Sichten für neue Anwendungen genutzt werden kann. Dabei spielen insbesondere logische Beziehungen zwischen den Komponenten eines Produkts eine besondere Bedeutung, da diese für den Erstellungsprozess verwendet werden können [bar97], [blu02], [nov05].

2.6 Zusammenfassung & Anforderungsprofil

In diesem Kapitel wurde das Themengebiet der "Technischen Dokumentation", soweit es für die vorliegende Dissertation von direkter Bedeutung ist, näher beschrieben und hinsichtlich der bestehenden Defizite für die Erstellung von neuartigen technischen Dokumentationen bewertet. Im Folgenden werden diese Defizite nochmals zusammengefasst.

In der Technischen Dokumentation existiert eine Vielzahl von Dokumenten, welche je nach Anwendungsfall eine unterschiedliche Ausprägung haben (vgl. Kapitel 2.1). Dennoch werden viele Informationen in mehreren Dokumenten benötigt und deshalb heutzutage mehrfach erstellt, da keine gemeinsame sowie anwendungsunabhängige Datenbasis besteht. Die Daten existieren somit nur in den jeweiligen Dokumenten, was die Wiederverwendung erschwert und einen automatisierten Prozess nicht unterstützt.

Der modulare Aufbau heutiger Dokumente ist der richtige Ansatz, um den Erstellungsaufwand zu minimieren und die Datenpflege zu erleichtern. Allerdings geht die Modularisierung heute noch nicht weit genug. Um auch neuartige technische Dokumentationen effizient erstellen zu können, sollte eine Trennung des technischen Inhalts von der Darstellungsform erfolgen. Dies unterstützt die Wiederverwendbarkeit von Informationspaketen und ermöglicht die automatisierte Anpassung der Informationen. Jedoch darf die Modularisierung für den Nutzer der technischen Dokumentation nicht sichtbar sein, um Fehler bei der Interpretation der Dokumentinhalte zu vermeiden.

Heutige Dokumente werden auf der Basis eines Referenzproduktes erstellt, d.h. alle Dokumente beziehen sich auf dieses Produkt und dessen spezifische Eigenschaften bzw. Ausstattungen. Daraus ergeben sich zwangsläufig Abweichungen zwischen dem Produkt und der zugehörigen Dokumentation, wenn das Produkt, welches ein Kunde gekauft hat, vom Referenzprodukt abweicht. Darüber hinaus fließen Änderungen während des Produktlebenszyklus nur ansatzweise in die Dokumentation ein, so dass Dokumentation und Produkt sukzessive auseinander driften.

Für neuartige technische Dokumentationen, insbesondere im Zusammenhang mit der Technologie "Augmented Reality", ist diese Ungenauigkeit nicht tragbar, da die Informationen mittels einer Datenbrille direkt auf die Realität überlagert werden. Aus diesem Grund muss der Erstellungsprozess neuartiger technischer Dokumentationen neu entwickelt werden. Für diesen Prozess sollen die folgenden Anforderungen in Tabelle 2.3 gelten, welche sich aus den oben vorgestellten Defiziten ergeben bzw. für den industriellen Produktiveinsatz neuartiger Technologien (vorrangig AR) zu berücksichtigen sind.

Von besonderer Bedeutung für den Einsatz von neuartigen Technologien in der technischen Dokumentation ist auch die Unterstützung der Erstellung durch geeignete Autorenwerkzeuge. Ein Vergleich und die Bewertung von existierenden 3D-Autorenwerkzeugen sowie von Erstellungstools für Arbeitsabläufe haben gezeigt, dass es derzeit keine integrierte gesamthafte Autorenumgebung für die Erstellung von neuartigen technischen Dokumentationen gibt. Des Weiteren werden Anforderungen hinsichtlich einer modularen und wieder verwendbaren Struktur der Dokumente durch existierende Werkzeuge nur ansatzweise unterstützt.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass in der vorliegenden Arbeit ein besonderer Fokus auf der Neustrukturierung technischer Dokumente, der Trennung von technischem Inhalt und der zugehörigen Visualisierung, Einbindung von Produktdaten in den Erstellungsprozess und das Aufzeigen des Automatisierungspotenzials des gesamthaften Erstellungsprozesses gelegt wird. Daraus abgeleitet ergibt sich ein Anforderungsprofil für den Erstellungsprozess neuartiger technischer Dokumentationen. Die folgende Tabelle fasst die Anforderungen nochmals zusammen, auf welche in den nächsten Kapiteln Bezug genommen wird.

Anforderung	Beschreibung
100%-Genauigkeit	Heutige Dokumentationen beschreiben zumeist nur ein Referenzprodukt. Dadurch entsteht eine Diskrepanz zwischen dem realen Produkt und der zugehörigen Anleitung. Besonders für immersive Technologien wie Augmented Reality ist diese Ungenauigkeit nicht akzeptabel [sto05a].
Instanziierung der Dokumentation	Eine konkrete Produktinstanz ist abhängig von Parametern (z.B. Ausstattungsmerkmalen). Aufgrund der ersten Anforderung ergibt sich daraus die Notwendigkeit, Dokumente ebenso instanziieren zu können.
Unabhängigkeit der Visualisierung	Die späteren Dokumentationen sollen unterschiedlich visualisiert werden können. Dadurch werden unterschiedliche Detaillierungsgrade und Anwendungsbereiche ermöglicht.
Keine Programmier- und Visualisierungskenntnisse	Der zu entwickelnde Erstellungsprozess soll von der technischen Redaktion keine neuen Kenntnisse hinsichtlich Visualisierung und Programmierung erfordern.
Automatisierung	Ein Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Automatisierung einzelner Prozessschritte und Teilaufgaben. Der spätere Erstellungsprozess soll so untergliedert werden, dass möglichst viele Aufgaben automatisiert werden können.
Einheitliche Datenbasis	Der spätere Erstellungsprozess soll auf einer zuvor definierten Datenbasis aufgesetzt werden und zusätzliche Daten auch in dieser Datenbasis ablegen. Durch den hier zu entwickelnden Prozess sollen keine neuen Datenbanken notwendig werden. Bereits vorhandene Datenbanken sollen entsprechend erweitert werden.
Konfigurierbare Datenbereitstellung	Die Datenbereitstellung ist das Bindeglied zwischen der Datenbasis und dem Erstellungsprozess. Sie ermöglicht die Quelldaten einzulesen und in der gewünschten Form für den Erstellungsprozess automatisiert zur Verfügung zu stellen. Die Datenbereitstellung soll aufgrund von sich ändernden Randbedingungen angepasst werden können.

Tabelle 2.3: Anforderungsprofil

3 STRUKTUR NEUARTIGER TECHNISCHER DOKUMENTATIONEN

Bevor ein gesamthafter Erstellungsprozess für neuartige technische Dokumentationen definiert werden kann, muss die Struktur für derartige Dokumente festgelegt werden. Dabei werden die im vorigen Kapitel beschriebenen und bewerteten Ansatzpunkte für Verbesserungen aufgegriffen und im Hinblick auf den späteren Erstellungsprozess weiterentwickelt. Zunächst wird die innere Struktur eines Dokuments bzw. einer Anleitung aufgebaut, um anschließend ein Dokumentenmodell zu definieren, welches alle Dokumente in sich vereint.

3.1 Innere Struktur eines Dokuments

3.1.1 Ansatz

Das Ziel dieser Arbeit ist es, technische Dokumente durch einen automatisierbaren Prozess erstellen zu können. Um dieses Ziel zu erreichen, muss der Aufbau eines Dokuments entsprechend modular definiert werden. Als Grundlage hierfür dient das Konzept der formalen Sprachen aus dem Fachgebiet der Informatik. Ein Alphabet ist demnach eine endliche Menge von Elementen zur Abbildung einer Sprache. Dabei ist die kleinste atomare Einheit eines Alphabets ein Symbol bzw. ein Buchstabe [sch00a].

Analog zu diesem Ansatz soll für technische Dokumentationen ein Alphabet aus atomaren Einheiten definiert werden. Durch Komposition dieser Einheiten kann jede gültige Anleitung aufgebaut werden. Um erlaubte und nicht erlaubte Kombinationen zu definieren, muss zusätzlich eine entsprechende Grammatik für technische Dokumente festgelegt werden. Eine Grammatik ist eine endliche Beschreibungsmöglichkeit für eine Sprache [sch00a].

Formal ausgedrückt besteht eine Grammatik aus einem 4-Tupel $G = (V, \Sigma, P, S)$. V ist die endliche Menge der möglichen Variablen, Σ das Terminalalphabet, P die Menge der Regeln und S die Startvariable. Es gelten die Nebenbedingungen $V \cap \Sigma = \varnothing$ und $S \in V$. Weitere Informationen zur formalen Definition von Grammatiken finden sich in [sch00a]. Eine formale Betrachtung technischer Dokumente und die Abbildung auf eine Sprache findet sich in Kapitel 3.1.6. Zunächst soll im Folgenden anhand eines anschaulichen Modells die Struktur für technische Dokumente hergeleitet und definiert werden.

3.1.2 Schichtenmodell

Die Struktur einer heutigen Dokumentation kann nicht unmittelbar auf neuartige technische Dokumentationen übertragen werden. Einerseits fehlt die Möglichkeit, mehrere verschiedene Visualisierungsarten einzubinden, andererseits muss aufgrund der angestrebten Automatisierung der Erstellung eine erhöhte Modularisierung der Dokumente angedacht werden. Angelehnt ist diese Unterteilung an die Idee des Funktionsdesigns, welche ebenfalls die Standardisierung von Dokumenten durch Modularisierung vorschlägt (vgl. Kapitel 2.4.2).

Wichtig bei der Definition einer neuen Struktur für technische Dokumentationen ist die Erhaltung der Allgemeingültigkeit. Daraus folgt, dass sowohl neuartige Dokumentationen als auch heutige Dokumente durch diese Struktur abgedeckt werden, d.h. es müssen sowohl die Definition für "Technische Dokumentationen" (vgl. Definition (2)) als auch die Definition für "Neuartige technische Dokumentationen" (vgl. Definition (4)) ihre Gültigkeit behalten.

Grundsätzlich soll der Inhalt (die Information für den Anwender) von der zugrunde liegenden Struktur getrennt werden. Deshalb untergliedert sich das Schichtenmodell (vgl. Abbildung 3.1) in die Strukturebene und in die Informationsebene, welche in den folgenden Unterkapiteln näher beschrieben werden.

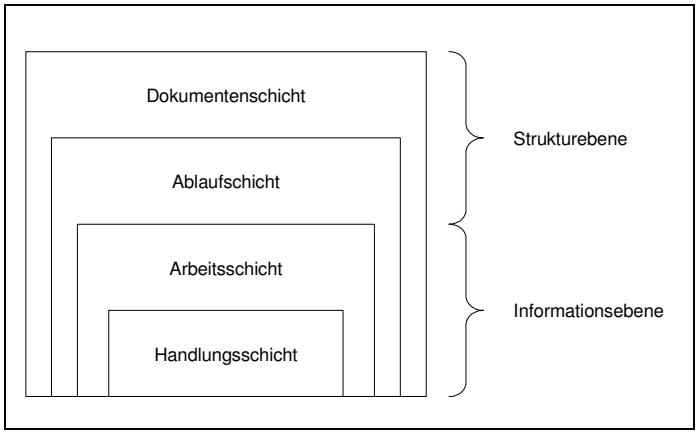


Abbildung 3.1: Schichtenmodell einer neuartigen technischen Dokumentation

3.1.3 Strukturebene

Die Strukturebene enthält Informationen über die Verschaltung der Abläufe bzw. der Arbeitsschritte innerhalb eines Dokuments und Informationen, über die gesamte Anleitung. Innerhalb der Strukturebene ist eine Unterscheidung in Dokumente und Abläufe notwendig. Einerseits müssen in der Struktur einer Dokumentation die modularen Abläufe abgebildet werden und andererseits werden diese Abläufe zu festen Dokumenten zusammengefasst.

Die *Dokumentenschicht* kapselt die Abläufe in Dokumentationen, die der heutigen Granularität eines Dokuments entspricht. In dieser Schicht wird unter Vorgabe des zu erfüllenden Ziels (z.B. "Generator ausbauen") eine entsprechende Dokumentation erstellt. Darüber hinaus enthält diese Schicht Zusatzinformationen wie Durchführungsdauer und Indikation (z.B. in Form eines Fehlercodes) für die Anleitung. Die Dokumentenschicht bildet für den Anwender die externe Sicht auf ein Dokument.

Die *Ablaufschicht* ist für den späteren Anwender des Dokuments transparent. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, häufig vorkommende Arbeitsschritte in einer größeren Einheit zusammenzufassen und für den Erstellungsprozess zur Wiederverwendung zur Verfügung zu stellen. Dabei kann ein Ablauf wiederum rekursiv aus Abläufen oder Arbeitsschritten aufgebaut sein.

In der Strukturebene dürfen keine Informationen, die zur Ausführung der Handlungen innerhalb der Dokumente notwendig sind, vorhanden sein. Eine Ausnahme bilden hier lediglich Übersichten oder zusammenfassende Beschreibungen. So ist es bspw. möglich einem Ablauf eine Abbildung oder eine Animation hinzuzufügen, um dem Anwender einen groben Überblick über die auszuführenden Arbeiten zu geben.

3.1.4 Informationsebene

Die Informationsebene enthält die Inhalte, die bei Betrachtung des Dokuments dargestellt werden. Um einerseits den Bedürfnissen unterschiedlicher Anwender und deren Erfahrungen gerecht zu werden und andererseits den Aufbau heutiger Anleitungen abbilden zu können, besteht die Informationsebene aus einer Arbeitsschicht und einer Handlungsschicht.

Die *Arbeitsschicht* enthält ein Dokument in der Granularität heutiger Dokumentationen. Bei einer Reparatur- bzw. Montageanleitungen entspricht diese Ebene zu weiten Teilen der Sicht auf die Bauteile. Diese Schicht dient der Erstellung von Übersichten über eine Anleitung bzw. von Expertenanleitungen, die lediglich ein Minimum an Informationen benötigen. Typische Anweisungen in dieser Schicht sind:

- Bauteil einbauen, ausbauen bzw. ersetzen
- Füllstand prüfen
- Funktion bedienen

Die *Handlungsschicht* enthält alle Tätigkeiten, die ausgeführt werden müssen, um ein Ziel zu erreichen. Diese Schicht stellt bspw. den Verlauf einer Reparatur genau so dar, wie er in der Realität ausgeführt werden muss. Deshalb enthält die Handlungsschicht (im Gegensatz zu zur Arbeitsschicht) atomare Schritte die nicht weiter unterteilt werden können.

- Schraube lösen bzw. festziehen
- Stecker entriegeln und lösen
- Bauteil entfernen bzw. einsetzen
- Ergebniskontrolle

Die Handlungsschicht eignet sich besonders zur Erstellung von Dokumentationen für unerfahrene Anwender oder zu Ausbildungszwecken.

3.1.5 Beispielanleitung

Das in diesem Unterkapitel erstellte Schichtenmodell soll anhand eines konkreten Beispiels veranschaulicht werden. Dazu wurde ein kurzes Beispiel aus der Domäne der Informationstechnologie gewählt, welches das Starten einer Anwendung unter Windows beschreibt.

Dokument	**Ablauf**	**Arbeitsschritt**	**Handlung**
Anwendung unter Windows starten	Computer einschalten	Computer einschalten	On/Off – Taste drücken
	Windows Anmeldung	In Eingabemaske wechseln	Strg. – Taste drücken
			Alt – Taste drücken
			Entf. – Taste drücken
		Kennwort eingeben	F – Taste drücken
			O – Taste drücken
			O – Taste drücken
			Eingabe – Taste drücken
	Anwendung starten	Anwendung starten	START – Button drücken
			Untermenü "Programme" anklicken
			Anwendung anklicken

Tabelle 3.1: Anleitung zum Starten einer Anwendung unter Windows

Die Tabelle 3.1 zeigt das Dokument und dessen Untergliederung in Abläufe, Arbeitsschritte und Handlungen. Zusätzlich zu den hier dargestellten Informationen, müssen Vor- und Nachbedingungen erfasst werden. Vor der Windows Anmeldung muss bspw. abgewartet werden, bis der Rechner vollständig hochgefahren ist. In den Vorbedingungen muss auch erfasst sein, ob ein Ablauf in der konkreten Anwendung überhaupt notwendig ist. Für dieses Beispiel bedeutet dies, dass unter Umständen die Abläufe "Computer einschalten" und "Windows Anmeldung" nicht notwendig sind, wenn der Rechner schon eingeschaltet und der Anwender bereits angemeldet ist. Vorbedingungen können demnach zur automatischen Anpassung eines Dokuments an den aktuellen Zustand des Produkts bzw. der Umgebung verwendet werden.

An diesem Beispiel lässt sich auch schon sehr gut erkennen, dass die Menge der Handlungen begrenzt ist. In der Handlungsschicht kommen nur noch elementare Anweisungen vor, die durch den jeweiligen Anwendungsbereich vorgegeben sind. Besonders klein wird diese Menge, wenn es sich um die Bedienung eines Computers handelt, da hier in der Regel nur Tastatur und Maus als Interaktionsmedien zur Verfügung stehen. Für jede Anwendungsdomäne kann somit eine definierte Menge von Handlungsanweisungen angegeben werden.

3.1.6 Formale Betrachtung

Ausgehend von dem zuvor definierten Schichtenmodell und dessen Ebenen, kann nun eine formale Sprache definiert werden. Aufbauend auf dieser Sprache wird später die Abbildung einer neuartigen technischen Dokumentation in ein Dateiformat (z.B. XML) bewerkstelligt.

Mit Hilfe einer Grammatik G mit G = (V, Σ, P, S) lässt sich nun eine technische Dokumentation auch formal beschreiben. Der strukturelle Aufbau einer Dokumentation wurde bereits im Schichtenmodell definiert. Daraus ergibt sich die Menge V der Variablen inklusive der Startvariablen S:

```
V = { <Dokument>,
      <Ablauf>,
      <Arbeitsschritt>,
      <Handlung> }

S =   <Dokument>
```

Für die Verschaltung der Elemente aus V werden Regeln in der Menge P definiert. Das leere Element trägt das Symbol ε.

```
P = { <Dokument>        →   <Ablauf>
      <Ablauf>          →   <Arbeitsschritt> <Ablauf>
      <Ablauf>          →   ε
      <Arbeitsschritt>  →   <Handlung> <Arbeitsschritt>
      <Arbeitsschritt>  →   ε
      <Handlung>        →   x ∈ Σ }
```

Auf der Handlungsschicht befinden sich die Terminalsymbole, welche die atomaren Schritte definieren. In dieser Schicht sind keine Variablen mehr vorhanden. Die Menge aller Terminalsymbole sei Σ. Im Folgenden wird eine Teilmenge Σ* mit Σ* ⊂ Σ dargestellt:

```
Σ* = { Schraube lösen, Knopf drücken,
       Bauteil abnehmen, Stecker entriegeln }
```

Mit Hilfe dieser Grammatik G lassen sich formal korrekte Dokumente erzeugen. Da aber nicht jede Handlung in beliebiger Reihenfolge sinnvoll ist, müssen zusätzliche Informationen hinzugefügt werden. Damit ist G nach der Chomsky-Hierarchie[41] eine kontextsensitive Grammatik (Typ 1) [sch00a], [wik06]. Um korrekte technische Dokumentationen erstellen zu können, muss eine strikte Semantik definiert werden, die nur erwünschte Kombinationen der Terminalsymbole zulässt.

3.2 Dokumentenmodell für technische Dokumentationen

3.2.1 Ansatz

Unter einem Dokumentenmodell wird ein Konstrukt verstanden, welches für jede Dokumentation ein Grundgerüst zur Verfügung stellt. Primär von Bedeutung sind dabei die Reihenfolge der Arbeitsschritte und deren Zugehörigkeit zu einem Ablauf bzw. Teilablauf. Sekundär werden in diesem Modell auch Metadaten verwaltet, welche die Schritte und deren Verschaltung näher beschreiben. Das Modell dient bei der späteren Erstellung als Urmuster für ein Dokument (vgl. Kapitel 2.5.3). Das Dokumentenmodell wird auf der Ebene der Arbeitsschicht aus Kapitel 3.1.4 definiert. Daraus abgeleitet können somit jedem Bauteil in der Produktstruktur die entsprechenden Arbeitsschritte im Dokumentenmodell zugewiesen werden. Innerhalb des Dokumentenmodells wird eine strikte Semantik vorgegeben, welche nur eine bestimmte Abfolge der einzelnen Schritte eines Dokuments zulässt. Es wird eine "Vorgänger-Beziehung" modelliert, die jedem Schritt einen oder mehrere Schritte zuweist, die zunächst ausgeführt werden müssen.

Die Idee eines generischen Dokumentenmodells basiert auf zwei Thesen, die im Anschluss veranschaulicht und hergeleitet werden sollen. Beide Thesen haben zum Ziel, die Menge aller Dokumente innerhalb einer Produktgattung (z.B. Automobil) zu minimieren.

These (1):
"Die Menge aller Arbeitsschritte für mehrere Dokumentationen desselben Produkts sind nicht disjunkt, d.h. Arbeitsschritte wie auch ganze Teilabläufe können in mehreren unterschiedlichen Dokumenten vorkommen."

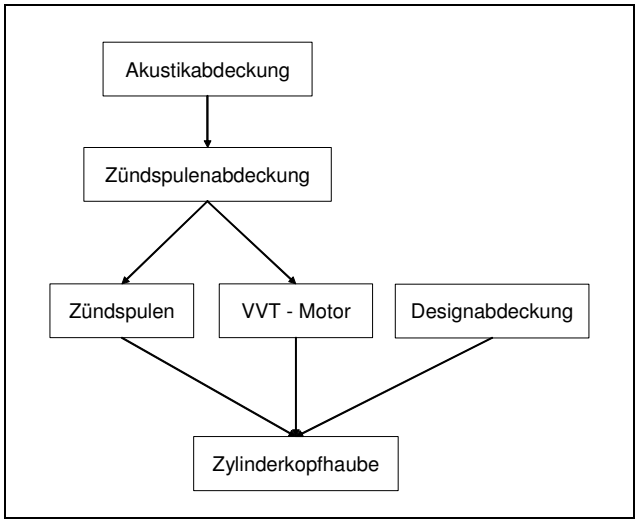


Abbildung 3.2: Demontageablauf für die Zylinderkopfhaube

[41] Benannt nach A. N. Chomsky, Professor für Linguistik am Massachusetts Institute of Technology (MIT)

Die Abbildung 3.2 zeigt einen Beispielablauf für die Demontage der Zylinderkopfhaube. Dieser Ablauf beinhaltet auch die Teilabläufe für den Ausbau der Zündspulenabdeckung, der Zündspulen und des VVT-Motors. Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass auch die Abläufe für die Demontage der Akustikabdeckung und der Designabdeckung enthalten sind, welche jedoch jeweils nur aus einem Arbeitsschritt bestehen. Somit ergeben sich aus dieser Darstellung sechs separate Anleitungen.

These (2):
"Nicht für jedes einzelne Produkt muss jede Dokumentation neu geschrieben werden, sondern es kann ein vorhandenes generisches Dokument auf unterschiedliche Derivate und Baureihen übertragen werden."

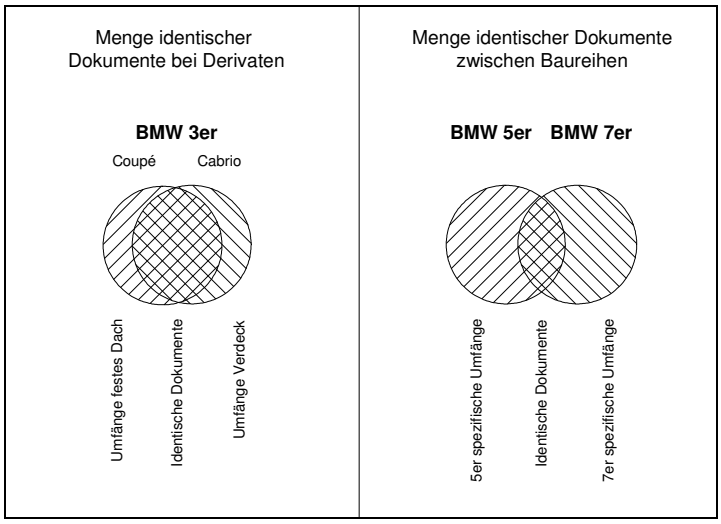


Abbildung 3.3: Kommunalitäten zwischen Derivaten und Baureihen

Die Abbildung 3.3 zeigt die Mengen aller Teilschritte für vier verschiedene Produkte. Darunter zeigt die Vereinigung dieser Mengen einerseits für Derivate und andererseits für Baureihen die Anzahl identischer Arbeitsschritte bzw. Dokumente.

3.2.2 Herleitung der These (1)

Der generische Aufbau einer neuartigen technischen Dokumentation (vgl. Kapitel 3.1) beinhaltet unter anderem die Wiederverwendung von Abläufen als Teil eines neuen Ablaufes. Die These (1) besagt, dass durch Kombination der Abläufe unterschiedlicher Dokumente und durch Erfassung einer kausalen Beziehung der Teilschritte untereinander die Anzahl der zu verwaltenden Teilschritte sinkt und ein Dokumentenmodell aufgebaut werden kann, welches alle Dokumente eines Produkts enthält.

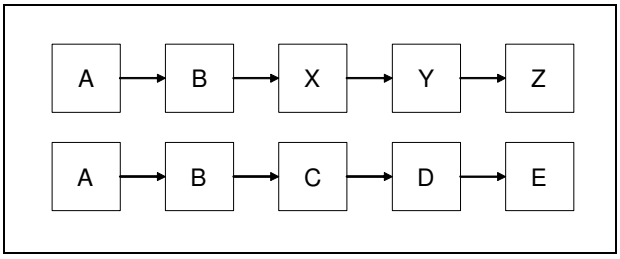


Abbildung 3.4: Zeitliche Abfolge zweier unterschiedlicher Anleitungen

Die Abbildung 3.4 zeigt zwei Abläufe zweier Dokumente in sequentieller Reihenfolge. Dabei steht jedes Quadrat für einen separaten Arbeitsschritt und die Pfeile verbinden diese Arbeitsschritte in einer zeitlichen Abfolge. Für ein generisches Dokumentenmodell ist die zeitliche Reihenfolge der Arbeitsschritte nicht von Bedeutung, sondern das Modell muss die Arbeitsschritte in eine kausale Beziehung setzen. Im Falle der technischen Dokumentation besagt die kausale Beziehung zwischen den Schritten, dass ein Schritt zwingend vor einem anderen Schritt ausgeführt werden muss. Um beispielsweise auszudrücken, dass die Schritte A und B immer in dieser Reihenfolge auszuführen sind, kann folgende Beziehung definiert werden:

```
A ist Vorgaenger von B.
```

Alternativ könnte auch eine `Nachfolger`-Beziehung definiert werden, jedoch ist diese für die spätere Erstellung einer Anleitung nicht praktikabel. Da es seltener vorkommt, dass ein Schritt einen anderen Schritt zwangsläufig nach sich zieht (z.B. "Öl nachfüllen" bedingt "Ölstand kontrollieren"), muss diese Beziehung im Dokumentenmodell separat modelliert werden. Eine Betrachtung verschiedener Beziehungstypen findet sich in Kapitel 3.2.3.

Für die beiden Abläufe aus Abbildung 3.4 sollen für die weitere Betrachtung die beispielhaften Kausalitäten gelten:

```
A ist Vorgaenger von B.
X ist Vorgaenger von Y.
B ist Vorgaenger von Z.
Y ist Vorgaenger von Z.

A ist Vorgaenger von B.
C ist Vorgaenger von D.
B ist Vorgaenger von E.
D ist Vorgaenger von E.
```

Die graphische Darstellung dieser kausalen Beziehungen zeigt Abbildung 3.5. Zusätzlich ist erkennbar, dass beispielsweise zwischen B und X keine Abhängigkeiten bestehen, obwohl die beiden Schritte in der zeitlichen Abfolge (vgl. Abbildung 3.4) direkt aufeinander folgen.

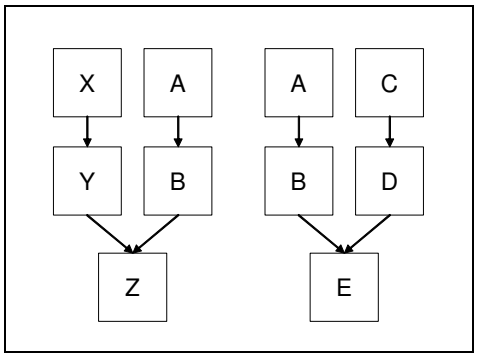


Abbildung 3.5: Darstellung der kausalen Beziehungen

Sowohl in der textuellen Beschreibung als auch in der graphischen Darstellung tritt eine Doppelung der Beziehung zwischen den Schritten A und B auf. Diese Redundanz ist unerwünscht, da die Schritte A und B in den beiden Abläufen identisch sind. Eine redundanzfreie Darstellung der Beziehungen wird durch Vereinigung der beiden Abläufe erreicht (vgl. Abbildung 3.6).

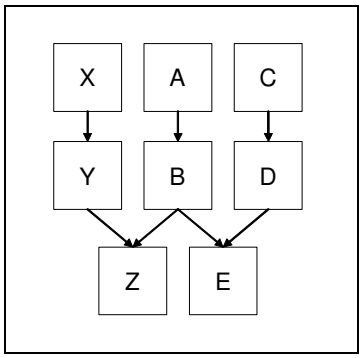


Abbildung 3.6: Vereinigung beider Abläufe

Analog zu einem Produktmodell (vgl. Kapitel 2.5.2), welches ein Produkt beschreibt, lässt sich nun ein Dokumentenmodell aufbauen, welches alle Dokumente eines Produkts als Teilablauf enthält. Die Abbildung 3.7 einen Auszug aus einem gesamthaften Dokumentenmodell.

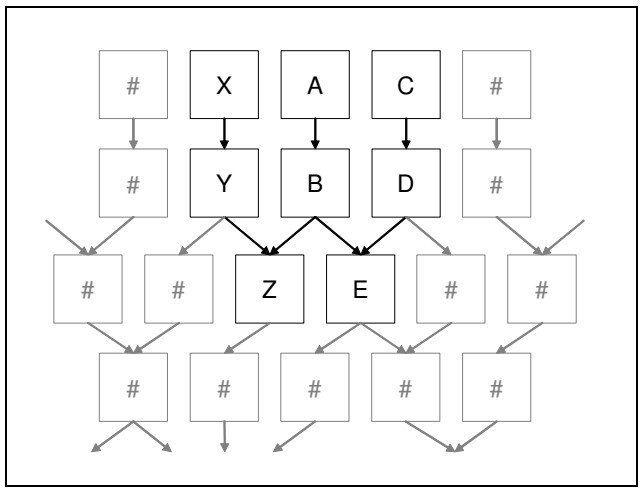


Abbildung 3.7: Auszug aus dem gesamthaften Dokumentenmodell

3.2.3 Beziehungstypen

Die reine Modellierung einer `Vorgaenger`-Beziehung zwischen den einzelnen Arbeitsschritten spiegelt zwar die Verknüpfung heutiger Dokumente wieder (vgl. Kapitel 2.1.3), jedoch ist diese nicht ausreichend um alle möglichen Beziehungen der Arbeitsschritte untereinander darzustellen. Diese Sonderfälle werden in der heutigen Dokumentation lediglich mit Hilfe von Texten und Verweisen beschrieben. Für die Eingliederung in das Dokumentenmodell werden im Folgenden zusätzliche Beziehungstypen definiert.

Vorgänger

Wie schon im vorigen Kapitel erwähnt, ist die `Vorgaenger`-Beziehung die häufigste vorkommende Beziehungsart. Sie definiert Arbeitsschritte, welche zwangsläufig vor der Ausführung einer bestimmten Arbeit durchzuführen sind. Die Abbildung 3.8 zeigt die Vorgänger in Form von erforderlichen Vorarbeiten innerhalb einer heutigen Reparaturanleitung.

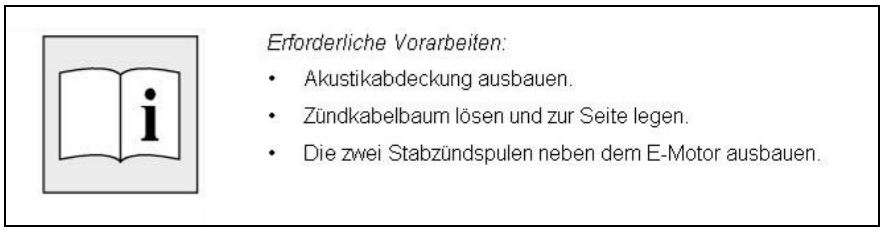

Erforderliche Vorarbeiten:
Akustikabdeckung ausbauen.
Zündkabelbaum lösen und zur Seite legen.
Die zwei Stabzündspulen neben dem E-Motor ausbauen.

Abbildung 3.8: Vorgänger in einer Reparaturanleitung [bmw04a]

Nachfolger

Eine `Nachfolger`-Beziehung darf für das hier vorgestellte Dokumentenmodell *nicht* definiert werden, da ein Arbeitsschritt laut Definition des Dokumentenmodells immer das Ende eines Dokuments darstellt. Ausgehend von diesem Arbeitsschritt wird später durch Auswertung der Vorgänger das Dokument erstellt. Eine Nachfolger-Beziehung würde diesem Ansatz entgegenstehen.

Vor- und Nachbedingungen

Unter Umständen kann es auch notwendig sein, eine Vor- bzw. eine Nachbedingung zu modellieren, die sicherstellt, dass nur dann zum nächsten Arbeitsschritt übergegangen werden kann, wenn diese Bedingung erfüllt ist. Ein Beispiel für eine Vorbedingung ist der Hinweis "Reparatur nur bei abgekühltem Motor ausführen". Nachbedingungen werden häufig zur Ergebnis- bzw. Qualitätskontrolle eingesetzt. D.h. es muss überprüft werden, ob ein Arbeitsschritt erfolgreich durchgeführt wurde und mit dem erwartenden Ergebnis übereinstimmt. So beinhaltet der Arbeitsschritt "Öl auffüllen" die Nachbedingung "Ölstand kontrollieren" (vgl. Abbildung 3.9).

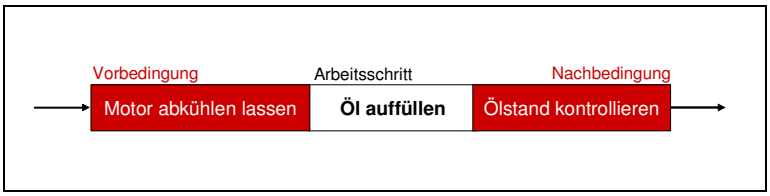


Abbildung 3.9: Arbeitsschritt mit Vor- und Nachbedingung

Sowohl Vor- als auch Nachbedingungen werden im Dokumentenmodell auf der Informationsebene als Handlung definiert. Damit wird sichergestellt, dass die Bedingungen untrennbar mit dem Arbeitsschritt verbunden sind. Die Vor- und Nachbedingungen müssen durch das Ablaufsystem, welches bspw. in der Werkstatt eingesetzt wird, überprüft und ausgewertet werden.

3.2.4 Herleitung der These (2)

In der These (1) wurden identische Schritte aus unterschiedlichen Dokumenten eines Produkts in einem Dokumentenmodell zusammengefasst. Diese Idee lässt sich mit Hilfe der These (2) auch auf unterschiedliche Produktvarianten übertragen. Ein einfaches Beispiel ist die Einstellung der vorderen Sitze eines Fahrzeuges. Die Abbildung 3.10 zeigt, dass die Bedienung des Einstellknopfes für die Längsrichtung, die Höhe und die Neigung unabhängig vom Fahrzeugmodell immer demselben Schema folgt. Trotzdem wurde offensichtlich jede dieser Beschreibungen separat erstellt, ohne auf eine gemeinsame Basis zurückzugreifen.

Abbildung 3.10: Sitzeinstellung der Modelle BMW 1er, 3er und 5er [bmw04b]

In einem weiteren Beispiel wurde übergreifend über mehrere Fahrzeugbaureihen, angefangen beim Kleinwagen bis hin zur Luxuslimousine, zunächst eine bestimmte Reparatur ausgewählt und die zugehörigen Anleitungen verglichen. Die ausgewählte Reparatur ist ein Extremfall, der zeigt, dass es Anleitungen gibt, die auf nahezu jedes Fahrzeug übertragen werden können. Allerdings gilt dies insbesondere dann nicht, wenn es sich um Ausstattungsmerkmale handelt, die nicht in jeder Fahrzeugklasse verfügbar sind. Dennoch zeigt dieser Ansatz, dass Dokumente innerhalb einer Produktgattung einen hohen Grad der Wiederverwendung aufweisen.

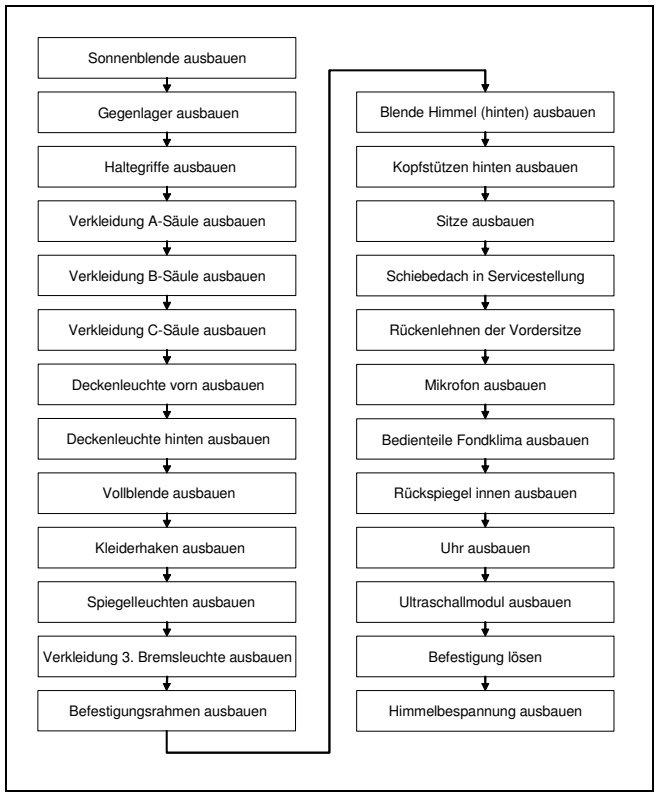


Abbildung 3.11: Generischer Ablauf für den Ausbau des Dachhimmels

Bei der ausgewählten Reparatur handelt es sich um den Ausbau des Dachhimmels. Dieses Szenario eignet sich besonders, weil jedes Fahrzeug (abgesehen von einem Cabrio) über einen Dachhimmel verfügt und der Ausbauvorgang weitestgehend identisch abläuft. Die Analyse der heute verfügbaren Reparaturanleitungen hat eindeutig gezeigt, dass die verschiedenen Reparaturen nicht aufeinander basieren und somit mehrfach erstellt worden sind. Ein Vergleich aller Arbeitsschritte zu dieser Reparatur über die unterschiedlichen Fahrzeuge hinweg findet sich im Anhang B.

Beide Beispiele zeigen, dass sich aus den unterschiedlichen Anleitungen, jeweils eine generische Anleitung extrahieren lässt, die bei der späteren Erstellung als Urmuster für alle konkreten Anleitungen verwendet werden kann (vgl. Abbildung 3.11).

3.2.5 Operatoren und Semantik

Das Dokumentenmodell bildet die Basis für den Erstellungsprozess. Dadurch muss dieses Modell alle notwendigen Informationen enthalten und unterliegt durch die Arbeit des technischen Redakteurs einer permanenten Pflege und Erweiterung. Der Erstellungsprozess hingegen reduziert die Informationen auf den Anteil, der für den Anwender von Bedeutung ist. Deshalb werden an dieser Stelle sowohl Operationen für die Erweiterung als auch für das Löschen der Informationen definiert. Da das Dokumentenmodell auf den Ansätzen und Prinzipien der Graphentheorie aufbaut (vgl. Kapitel 3.2.2 und Kapitel 2.5.6), können auch deren Operatoren entsprechend adaptiert werden. Für das Dokumentenmodell sollen folgende Operationen erlaubt werden:

- *Suchen* eines Knoten / einer Kante
- *Einfügen* eines Knoten / einer Kante
- *Löschen* eines Knoten / einer Kante

Zur Definition dieser Operationen, soll die in der Informatik übliche Speicherung eines Graphen als verkettete Liste zugrunde gelegt werden. Der Vollständigkeit halber muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass alternativ auch eine Speicherung als Adjazenzmatrix[42] möglich wäre. Jedoch besitzt diese Art einige schwerwiegenden Nachteile. So kann es bspw. notwendig sein, die Matrixgröße beim *Einfügen* bzw. *Löschen* zu ändern oder Knoten umzuordnen. Hingegen werden bei der verketteten Speicherung als Liste jeweils eine Knoten- und eine Kantenlisten geführt, bei denen sich die oben genannten Operationen auf lineare Listen zurückführen lassen.

Für eine verkettete lineare Liste sollen folgende Eigenschaften gelten:

- Das erste Listenelement hat keinen Vorgänger, alle anderen haben genau einen Vorgänger.
- Das letzte Listenelement hat keinen Nachfolger, alle anderen haben genau einen Nachfolger.
- Jedes Listenelement (mit Ausnahme des Letzten) hat einen Zeiger auf seinen Nachfolger.
- Ein als `root` bezeichneter Zeiger weist auf das erste Listenelement.
- Dem Zeiger des letzten Listenelements wird der Wert `NULL` (∅) zugewiesen.

Die Abbildung 3.12 zeigt eine verkettete lineare Liste mit vier Elementen (A, B, C und D) und die Verkettung durch Zeiger (P_1, P_2, P_3 und P_4).

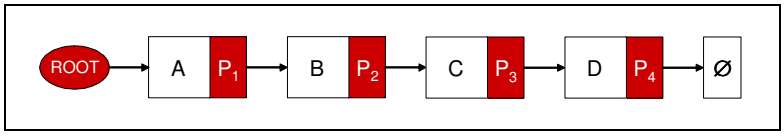


Abbildung 3.12: Verkettete lineare Liste

[42] Ein Graph mit n Knoten kann durch eine n×n-Matrix repräsentiert werden. Dazu nummeriert man die Knoten von 1 bis n durch und trägt in die Matrix die Beziehungen der Knoten zueinander ein [sch00b].

Für die Speicherung eines Graphen werden die Knoten in die Knotenliste und dessen Kanten in eine Kantenliste eingetragen. Der Informationsteil der Knotenliste enthält den Inhalt des Knoten, einen Zeiger auf die zugehörige Kantenliste und einen Zeiger auf den nächsten Knoten. Die Kantenliste eines Knoten enthält neben den Zeigern auf die nächste Kante auch einen Zeiger auf den jeweiligen Endknoten der Kante (vgl. Abbildung 3.13).

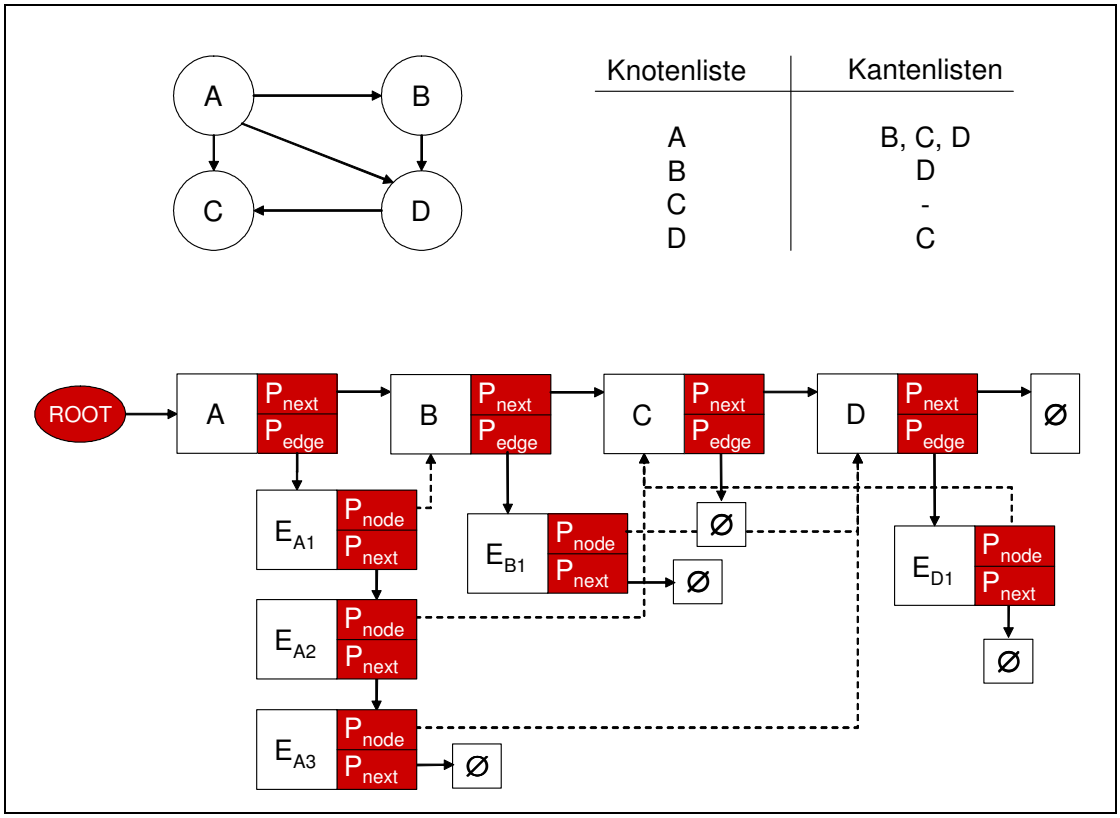


Abbildung 3.13: Graph mit dessen Repräsentation als verkettete Liste

Aufbauend auf dieser Repräsentation des Graphen als Listen können nun die Operationen *Suchen*, *Einfügen* und *Löschen* definiert werden.

Suchen eines Knoten

Mit Hilfe dieser Operation wird ermittelt, ob ein bestimmtes Element in der Knotenliste enthalten ist. Die Suche des Knoten K in der Liste L (mit dem Zeiger `root` auf L) kann in Pseudocode wie folgt dargestellt werden:

```
SUCHE_KNOTEN(K, L, root){

      x := root;

      WHILE (x != 0) DO

            IF (L[x].inhalt == K)
                  THEN RETURN x;
                  ELSE x := L[x].zeiger;

      RETURN null;
}
```

Suchen einer Kante
Aufbauend auf der Suchfunktion für Knoten kann eine Suche für eine Kante definiert werden. Zunächst werden dabei die beiden Knoten, zwischen denen sich die Kante befindet, in der Knotenliste gesucht. Wurden beide Knoten gefunden (andernfalls existiert die Kante nicht), kann in den jeweiligen Kantenlisten der beiden Knoten nach der Kante gesucht werden.

Einfügen eines Knoten
Einen Knoten in einen Graphen einzufügen erfolgt durch einen zusätzlichen Eintrag in der Knotenliste. Anschließend muss der Zeiger des Vorgängers in den neuen Knoten kopiert werden und zum Schluss der Zeiger des Vorgängers auf den neuen Knoten setzen.

Einfügen einer Kante
Eine neue Kante muss in die Kantenliste des entsprechenden Knoten eingetragen werden, indem ein Zeiger in der Kantenliste eines Knotens auf den Knoten weist, der mit einer Kante verbunden werden soll.

Löschen eines Knoten
Beim Löschen eines Knotens kann ebenfalls auf die vorhandenen Algorithmen der Graphentheorie bzw. für verkettete lineare Listen zurückgegriffen werden. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass keine Abhängigkeiten im Dokumentenmodell verloren gehen (vgl. Kapitel 3.2.2). Zunächst kann der Knoten aus der Knotenliste ausgetragen werden und verschwindet somit aus dem Dokumentenmodell. Das hier beschriebene Löschen dient während des Erstellungsprozesses zur Eliminierung von Arbeitsschritte, welche für ein bestimmtes Produkt keine Relevanz haben. Der komplette Erstellungsprozess wird in Kapitel 5.1 näher beschrieben.

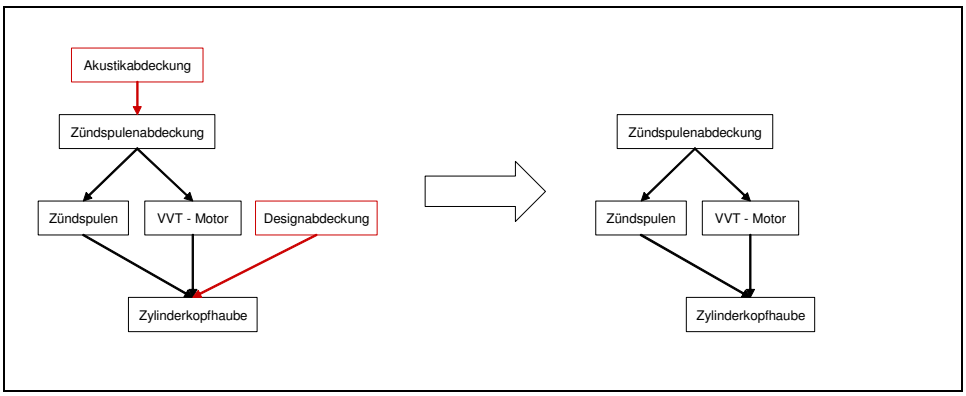


Abbildung 3.14: Erster Fall: Löschen von Anfangsknoten

Betrachtet man den Ablauf aus Abbildung 3.2, so lassen sich drei unterschiedliche Fälle beim Löschen eines Knotens bzw. Arbeitsschritts erkennen. Die Abbildung 3.14 zeigt den ersten Fall, bei dem ein Anfangsknoten ("Akustikabdeckung" bzw. "Designabdeckung") gelöscht wird. Dies bedingt lediglich das Löschen der entsprechenden Einträge aus der Knotenliste und das Entfernen der Kantenliste des Knotens. Im zweiten Fall wird ein Knoten gelöscht, der dem Löschen eines Elements aus einer verketteten Liste entspricht (vgl. Abbildung 3.15). Wird bspw. der Arbeitsschritt "Zündspulenabdeckung" entfernt, müssen die Kanten umgehängt werden, so dass der Knoten "Akustikabdeckung" jeweils eine Kante mit dem Knoten "Zündspulen" und dem Knoten "VVT-Motor" erhält.

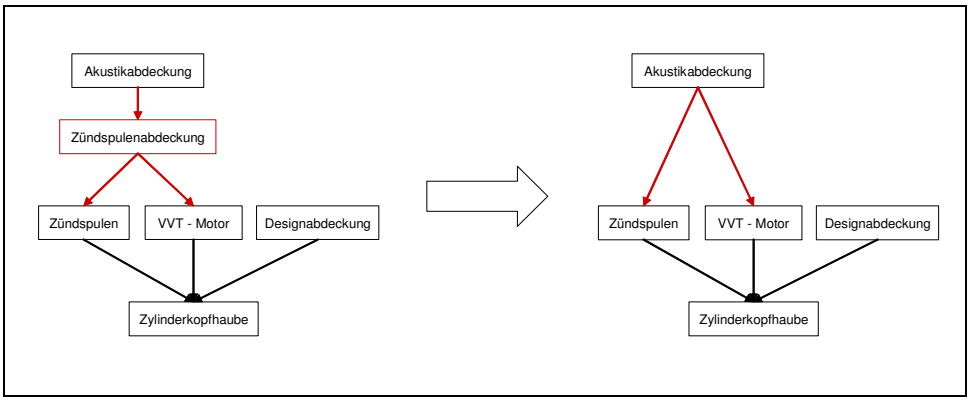


Abbildung 3.15: Zweiter Fall: Löschen eines Knotens und neue Kanten

Der dritte Fall betrifft in diesem Beispiel die beiden Knoten "Zündspulen" bzw. "VVT-Motor". Wird bspw. der Knoten "VVT-Motor" entfernt, so darf *keine* neue Kante generiert werden (im Gegensatz zum zweiten Fall). Dies begründet sich dadurch, dass bereits eine *transitive Abhängigkeit* über den Knoten "Zündspulen" besteht. Würde an dieser Stelle eine Kante zwischen "Zündspulenabdeckung" und "Zylinderkopfhaube" eingefügt werden, so entstünde jedoch keine falsche Anleitung, da die direkte kausale Abhängigkeit über den Knoten "Zündspulen" weiterhin bestünde. Dennoch sollen im Dokumentenmodell keine transitiven Abhängigkeiten abgebildet werden, da dies zu unnötigen und überflüssigen Verknüpfungen führt. Insbesondere würde dies dazu führen, dass jeder Arbeitsschritt mit allen seinen Vorgängern (und nicht nur mit den direkten) verbunden wäre. Da diese Abhängigkeiten durch den Erstellungsprozess ausgewertet werden müssen (vgl. Kapitel 5.1.2), ist eine Reduzierung auf eine minimale Anzahl anzustreben.

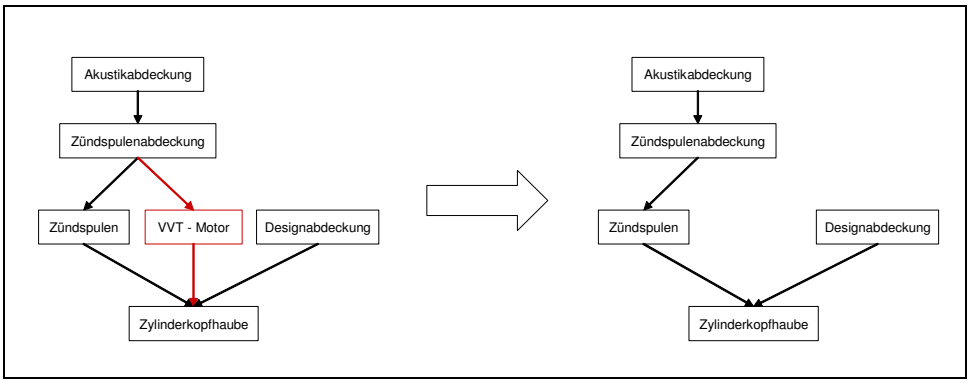


Abbildung 3.16: Dritter Fall: Löschen eines Knotens mit transitiver Abhängigkeit

Abschließend kann festgehalten werden, dass vor dem Löschen eines Knotens überprüft werden muss, ob eine transitive Abhängigkeit besteht oder nicht. Besteht keine derartige Abhängigkeit, so muss eine neue Kante in das Dokumentenmodell aufgenommen werden, um keinen Arbeitsschritt zu verlieren.

Löschen einer Kante

Zum Löschen einer Kante, muss diese Kante aus der Kantenliste des zugehörigen Knotens ausgetragen werden.

3.2.6 Überführung heutiger Dokumente in das Dokumentenmodell

Heutige Dokumente sind entweder sequentiell aufgebaut oder bestehen aus linear verknüpften Einzeldokumenten (vgl. Kapitel 2.1.3). Demnach werden die einzelnen Arbeitsschritte auch in den heutigen Dokumenten schon in eine kausale Beziehung (wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben) gesetzt. Jedoch werden diese Beziehungen nicht systemtechnisch erfasst. Eine Ersterstellung des Dokumentenmodells kann also durch Ableiten und Erfassen der kausalen Beziehungen zwischen den Arbeitsschritten in den heutigen Dokumenten erfolgen. Das so sukzessive entstehende Dokumentenmodell kann in einer gemeinsamen Bibliothek abgelegt und für den Erstellungsprozess neuartiger technischer Dokumentationen bereitgestellt werden.

Der hier vorgestellte Ansatz einer Anleitungsbibliothek ist im Vergleich zu den heutigen Dokumentationen ebenfalls vollständig, da jede Anleitung in das Modell eingegliedert werden kann. Da aber mehrmals vorkommende Abläufe gemeinsam für mehrere Anleitungen genutzt werden können, ist die Anzahl der abgelegten Abläufe bzw. Arbeitsschritte geringer als heute. Dies führt zu einem geringeren Aufwand bei der Pflege und Wartung der Datenbestände.

Kommen neue Baureihen, Produkte, Derivate oder Versionen hinzu, deren Dokumente sich im Detail von den schon bestehenden unterscheiden, müssen neue Arbeitsschritte bzw. neue kausale Beziehungen erstellt und in das Modell eingepflegt werden. Wie jedoch die These (2) zeigt (vgl. Abbildung 3.3), ist die Menge identischer Anleitungen über verschiedene Baureihen hinweg unter Umständen gering. Deshalb macht es Sinn, für jede Baureihe ein separates Dokumentenmodell zu definieren. Analog zur Produktstruktur in Kapitel 2.5.2 wird die Verwendung eines Masters vorgeschlagen, von welchem für jede Baureihe ein eigenes Dokumentenmodell abgeleitet werden kann. So wird einem unkontrollierten stetigen Anwachsen des Modells entgegengewirkt. Zusätzlich beschleunigt diese Maßnahme den Erstellungsprozess, da zur Laufzeit der Erstellung weniger Vorgänger-Beziehungen bzw. weniger Vor- und Nachbedingungen ausgewertet werden müssen.

3.3 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die Struktur innerhalb eines Dokuments und die Verknüpfung aller Dokumente zu einem Dokumentenmodell beschrieben. Zunächst musste untersucht werden, welche Bestandteile die neue Struktur aufweisen muss, damit sowohl heutige Dokumente als auch neuartige technische Dokumentationen darin abgebildet werden können. Dies führte zu einer vierschichtigen Struktur, welche die Grundlage für die weiteren Überlegungen bildete.

Im nächsten Schritt wurde das Wiederverwendungspotenzial der einzelnen Elemente einer Dokumentation beleuchtet. Basierend auf zwei Thesen, die durch eine Analyse verschiedener Dokumente aufgestellt wurden, konnte ein Dokumentenmodell definiert werden, welches dem späteren Erstellungsprozess als Urmuster für das zu erstellende Dokument dient. Die erste These bildet die kausalen Abhängigkeiten, welche zwischen den einzelnen Elementen eines Dokuments bestehen, in einer Struktur ab, die an die Grundlagen aus der Graphentheorie angelehnt ist. Mit Hilfe der zweiten These lässt sich das entwickelte Modell generalisieren und auf unterschiedliche Derivate oder Baureihen einer Produktgattung (z.B. Fahrzeug) übertragen.

Abschließend wurden die möglichen Beziehungstypen innerhalb des Dokumentenmodells und die darauf anwendbaren Operationen definiert. Da das entworfene Modell auf den Grundsätzen der Graphentheorie aufgebaut wurde, konnten auch die Beziehungen und Operationen entsprechend adaptiert werden.

4 PRODUKTSTRUKTUR

Im vorigen Kapitel wurden der Aufbau und die Struktur der neuartigen technischen Dokumentationen sowie deren Einbettung in ein gemeinsames Dokumentenmodell vorgestellt. Um einen zukünftigen Erstellungsprozess optimal mit den notwendigen Eingangsdaten versorgen zu können, müssen auch die Produktdaten aus der Produktentwicklung vollständig sein und eine Struktur aufweisen, welche die Erstellung unterstützt. Dafür wird in diesem Kapitel eine zusätzliche Einteilung des Produkts nach Gesichtspunkten der technischen Dokumentation definiert und es wird die Verwendung von Metadaten für die Erstellung vorgeschlagen. Den Abschluss dieses Kapitels bildet eine Betrachtung der so genannten Datenbereitstellung, deren Aufgabe die Adaptation der vorhandenen Produktdaten an die Anforderungen des Erstellungsprozesses ist.

4.1 Einteilung des Produkts

Die Produktstruktur ist die gemeinsame, verbindliche Datenbasis für alle Prozesse und Prozesspartner. Alle relevanten Produktdaten werden zueinander in Bezug gesetzt und mit einer Struktur versehen (vgl. Kapitel 2.5.2). Zu den wichtigsten Prozesspartnern zählen Entwicklung, Einkauf und Produktion. Für Serviceprozesse ist eine Integration der Anforderungen aus dem Servicebereich zu berücksichtigen.

Mit Hilfe von Produktstrukturen wird die Zuordnung der Produktkomponenten (Material, Einzelteile, Baugruppe, Erzeugnis) miteinander definiert. Die Zuordnung erfolgt anhand von Beziehungen der Art "gehört zu" oder "besteht aus". Diesen Beziehungen können dabei auch Informationen wie bspw. die Menge, der Einbauort oder die Funktion zugewiesen werden [ste99].

Der Aufbau der Produktstrukturen erfolgt aus verschiedenen Gründen differenziert. Somit entstehen unterschiedliche Sichten auf ein Produkt. Die funktionale Sicht des Konstrukteurs, die fertigungs- und montageorientierte Sicht des Arbeitsplaners, die vertriebsorientierte Sicht des Verkaufs, die Ersatzteilsicht und viele weitere Aggregierungen der Komponenten aufgrund einer spezifischen Anwendung oder Auswertung sind Möglichkeiten dieser Sichten einer Produktstruktur.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll diesen existierenden Sichten eine weitere Sicht hinzugefügt werden. Die dadurch entstehende "Dokumentationssicht" genügt den zuvor gestellten Anforderungen und hält alle Informationen bereit, die für die Erstellung neuartiger technischer Dokumentationen benötigt werden.

4.1.1 Relationale Einteilung

Technische Dokumentationen zeigen meist nur einen begrenzten Ausschnitt des Produkts. Dies gilt insbesondere für sehr komplexe und große Produkte. Eine vollständige Darstellung aller Details würde der Übersichtlichkeit der Dokumentation entgegenstehen. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle eine Unterteilung des Produktes in kleinere Dokumentationsräume vorgeschlagen. Die Abbildung 4.1 zeigt eine derartige Einteilung eines Fahrzeuges.

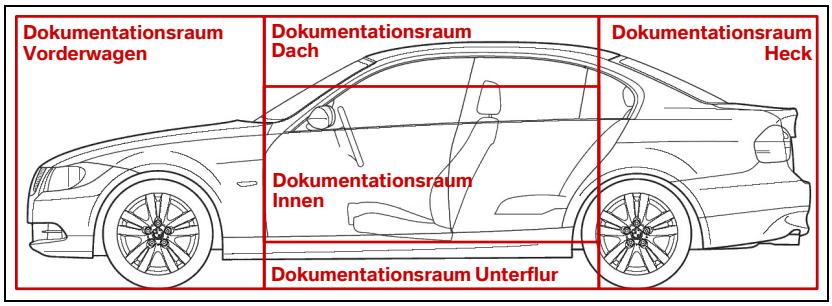


Abbildung 4.1: Unterteilung eines Fahrzeuges in Dokumentationsräume

Daraus abgeleitet, soll für die vorliegende Arbeit folgende Definition gelten:

> **Definition (7): Dokumentationsraum**
> *"In einem Dokumentationsraum befindet sich eine begrenzte Anzahl von Bauteilen, deren Gemeinsamkeit die lokale Nähe ist. Die Größe eines Dokumentationsraums ist dabei vorrangig abhängig von der Dichte der Bauteile, d.h. je komplexer ein solcher Raum aufgebaut ist, desto kleiner sollen dessen geometrischen Abmessungen sein. Die Funktion der Komponenten ist für die Einteilung unerheblich.*
>
> *Ein Dokumentationsraum bildet die Grundlage für die geometrische Repräsentation innerhalb eines Dokuments. Bei Dokumenten, die sich über einen größeren Umfang des Produktes erstrecken, können unter Umständen auch mehrere Dokumentationsräume betroffen sein."*

Die Unterteilung eines Produkts in kleinere Dokumentationsräume bietet des Weiteren die Möglichkeit, die Menge der notwendigen virtuellen Repräsentationen zu minimieren. Bspw. benötigt man für sämtliche Dokumentationen, die den Dokumentationsraum "Dach" einer Limousine betreffen, lediglich zwei Repräsentationen. Eine Variante, welche das Schiebedach enthält, und eine ohne (vgl. Abbildung 4.1).

Zu beachten ist dabei, dass jedes Produkt in Summe komplett durch Dokumentationsräume abgedeckt sein muss, d.h. durch entsprechendes Zusammensetzen dieser Räume in verschiedenen Konstellationen lässt sich jedes produzierte Produkt inklusive aller Sonder- und Zusatzausstattungen nachbilden. Dies bedingt, dass die Dokumentationsräume nicht zwangsläufig disjunkt sein müssen.

Die Einteilung der Dokumentationsräume kann auf zwei unterschiedliche Arten erfolgen. Einerseits besteht die Möglichkeit der expliziten Zuordnung eines Bauteils zu einem Raum (möglicherweise unterstützt durch die Klassifizierung (vgl. Kapitel 4.3)), andererseits können Dokumentationsräume automatisiert definiert werden. Abhängig von der Dichte der Bauteilanzahl in einem Bereich eines Produktes, wird für diesen Bereich eine entsprechende Unterteilung vorgenommen.

4.1.2 Funktionale Gruppierung

Für funktionsbeschreibende Dokumentationen (z.B. Betriebsanleitung, Diagnoseanleitung) ist neben der relationalen Einteilung in Dokumentationsräume auch eine Einteilung in funktionale Gruppen sinnvoll. Eine funktionale Gruppe umfasst dabei alle Bauteile, die eine gemeinsame Funktion ausüben und somit zum selben System gehören. Die Abbildung 4.2 zeigt die Gruppierung des Bremssystems bei einem Motorrad.

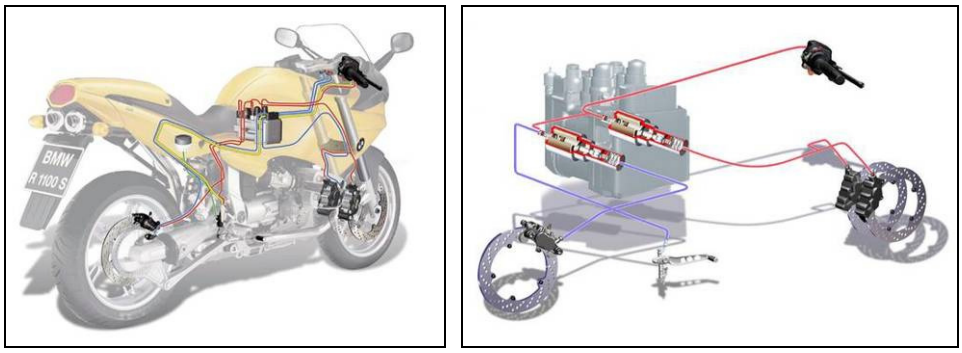


Abbildung 4.2: Funktionale Gruppierung der Bremssystem-Komponenten

Analog zu den Dokumentationsräumen lässt sich eine Definition für Funktionsgruppen formulieren:

> **Definition (8): Funktionsgruppe**
> *"In einer funktionalen Gruppen (oder Funktionsgruppe) lässt sich eine begrenzte Anzahl von Bauteilen zusammenfassen, deren Gemeinsamkeit die ausgeführte Funktion ist. Der Einbauort der einzelnen Komponenten ist für eine Funktionsgruppe unerheblich.*
>
> *Die Funktionsgruppen bilden vorrangig die Grundlage für die Fehlersuche bzw. die Erläuterung der Funktion eines Systems."*

Mit Hilfe dieser Gruppierung lassen sich alle Bauteile identifizieren, die bei bestimmten Anweisungen oder Bedienvorgängen einer Funktion betroffen sind.

4.2 Metadatenkonzept

Die Grundidee des Metadatenkonzepts ist die Wiederverwendung von Informationen, die während des Entwicklungs-, Absicherungs- und Produktionsprozesses eines Produkts aufgenommen wurden. Diese Daten unterstützen den technischen Redakteur bei der Erstellung neuer und der Pflege vorhandener Dokumente. Heutzutage sind diese Informationen zwar vorhanden, aber meist in den textuellen Beschreibungen eingebettet und somit nicht systematisch erfasst worden. Dies ist aber eine Grundvoraussetzung für die maschinelle Verarbeitung dieser Metadaten. Auch für die Wiederverwendung von einzelnen Schritten oder ganzen Abläufen für eine neue Anleitung spielen die Metadaten eine wichtige Rolle. Sie definieren Gültigkeiten und Randbedingungen für die Ausführung der Schritte in einem Dokument [sto03].

Im Folgenden soll zunächst die Idee der Metadaten basierten Erstellung von technischen Dokumentationen anhand eines konkreten Anwendungsfalls beschrieben werden. Mit Hilfe dieser Grundüberlegungen lässt sich dann eine Verallgemeinerung für alle technischen Dokumentationen formulieren.

4.2.1 Beispielhafte Metadaten für eine Reparaturanleitung

Zunächst soll das Konzept des Metadaten basierten Autorenprozesses anhand eines Beispiels erläutert werden. Für die graphische Repräsentation wurde das Resource Description Framework[43] (RDF) ausgewählt. RDF ist eine Spezifikation zur Repräsentation von Meta-

[43] http://www.w3.org/RDF/

daten (vgl. Kapitel 2.5.5), welche den Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Anwendungen ermöglicht [las99].

Der hier vorgestellte Metadatensatz kann schnell und einfach an jegliche Art von technischer Dokumentation angepasst und entsprechend erweitert werden. Die Metadaten sind hierarchisch aufgebaut. Das Wurzelelement, in dem alle weiteren Daten verankert sind, ist das Bauteil. Typische Metadaten für ein Bauteil sind vorwiegend produktbezogene Daten wie eine Teilenummer (dient der eindeutigen Identifikation eines Bauteils), eine Bezeichnung oder Angaben zum Material aus dem das Bauteil besteht. Die Abbildung 4.3 zeigt einen Auszug aus den Metadaten des VVT-Motors.

Für die Visualisierung mit Hilfe von Virtual bzw. Augmented Reality Methoden wird eine geometrische Repräsentation des Bauteils benötigt. Hierfür trägt jedes Bauteil ein Metadatum "Geometrie", welches einerseits eine Referenz auf das Modell enthält sowie andererseits weitere Daten, welche die Geometrie beschreiben. Im Regelfall kann für die Visualisierung das CAD-Modell nicht direkt aus der Entwicklung übernommen werden, weil dieses zu mächtig und zu detailliert ist. Dafür muss ein Prozess definiert werden, welcher die Originaldaten gemäß den Anforderungen der Visualisierung bereitstellt. Für den Anwendungsfall der Reparaturanleitung sind stark vereinfachte Geometriedaten ausreichend. Somit ergeben sich die notwendigen Metadaten der Geometrie für das Dateiformat, den Sehnenabstand[44], den Level of Details[45] und die Information, ob die Geometrie entkernt[46] ist.

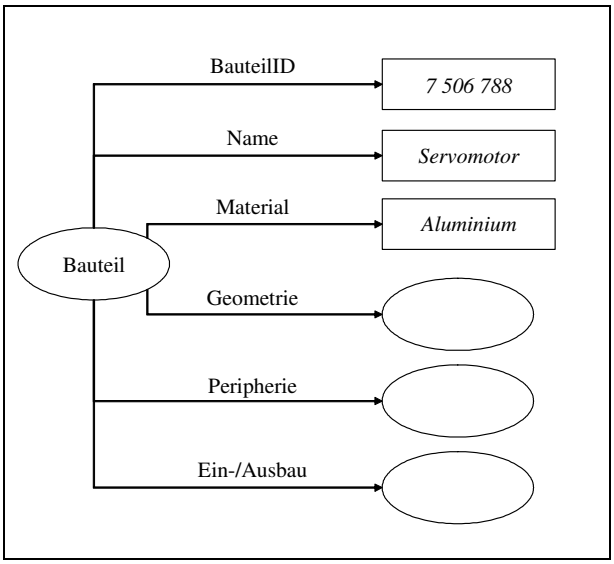


Abbildung 4.3: Auszug aus den Metadaten eines Bauteils

Ist eine Automatisierung der Erstellung von Bewegungsabläufen angedacht, so kann zusätzlich ein Metadatum "Animationspfad" eingeführt werden, welches die Bewegung des Bauteils bspw. für einen Demontagevorgang vorgibt. Diese Animationspfade können unter Umständen aus der Entwicklung bzw. der virtuellen Demontageabsicherung übernommen werden. In der Demontageabsicherung wird überprüft, ob ein bestimmtes Bauteil ausbaubar

[44] Der Sehnenabstand ist ein Maß für die Genauigkeit mit der ein Modell dargestellt werden kann. Ein kleiner Abstand steht dabei für eine höhere Genauigkeit.
[45] Unterschiedlich genaue Repräsentationen eines Ausschnittes der realen Welt. Bei der Annäherung an Objekte werden nach und nach mehr Details nachgeladen.
[46] Unter Entkernung versteht man die Entfernung nicht sichtbarer Flächen, die sich meist im Inneren (im Kern) einer Geometrie befinden.

ist und welche Bauteile zuvor ausgebaut werden müssten. Die Ergebnisse werden in die Entwicklung zurückgespielt und veranlassen ggf. Änderungen. Sowohl der Ausbauweg als auch die Information über die Ausbaureihenfolge sind Daten, die in die Erstellung der Reparaturanleitung einfließen müssen.

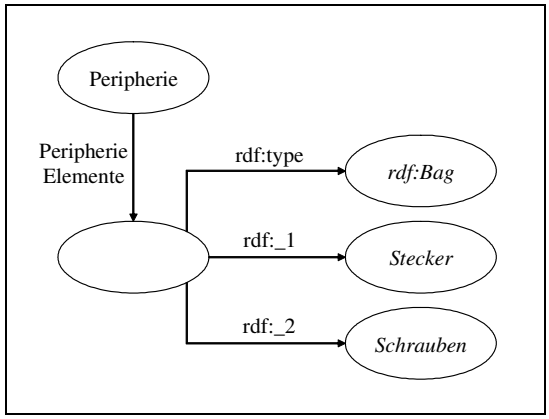


Abbildung 4.4: Metadaten zur Peripherie

Ein weiteres entscheidendes Metadatum eines Bauteils ist die Peripherie. Zur Peripherie zählen alle Teile, die in Verbindung mit dem auszubauenden Bauteil stehen und die manipuliert werden müssen, um das Bauteil auszubauen. Typischerweise handelt es sich bei Peripherieteilen um Stecker, Schläuche, Schrauben, Clips, etc. Im vorliegenden Beispiel ist der Servomotor mit einem Stecker verbunden und mit vier Schrauben befestigt (vgl. Abbildung 4.7). In RDF wird solch eine Aufzählung als "Bag" modelliert, welche gleichberechtigte Elemente enthält (vgl. Abbildung 4.4).

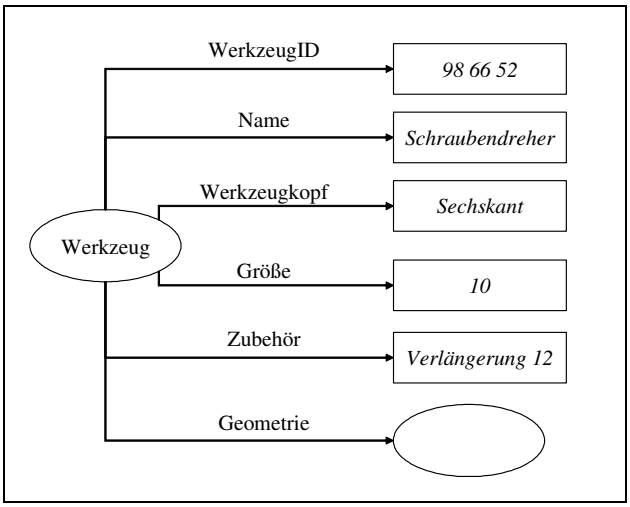


Abbildung 4.5: Auszug aus den Metadaten eines Werkzeugs

Aber nicht nur Bauteile, die zum Produkt gehören, können mit Metadaten entsprechend attributiert werden, sondern auch alle weiteren Gegenstände und Hilfsmittel, welche zur korrekten Ausführung einer Anleitung benötigt werden. Ein Beispiel hierfür sind Werkzeuge und insbesondere Spezialwerkzeuge[47] (vgl. Abbildung 4.5).

[47] Werkzeuge, die speziell für einen einzigen Anwendungsfall entwickelt und bereitgestellt werden.

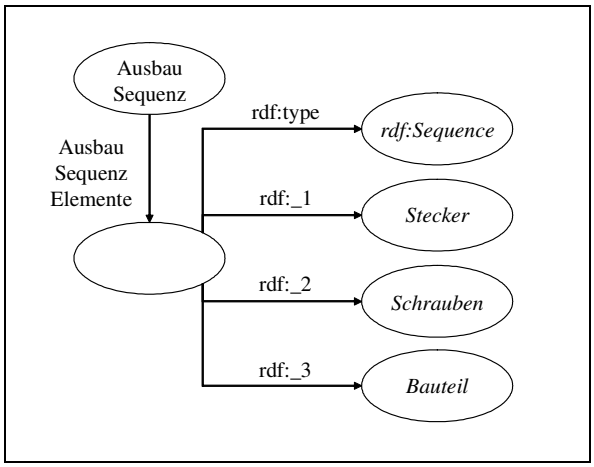


Abbildung 4.6: Metadaten einer Ausbausequenz

Alternativ zur Modellierung von Abläufen im Dokumentenmodell, insbesondere von bauteilspezifischen Abläufen, kann die Abfolge von Handlungsanweisungen auch mit Metadaten festgelegt werden. Die Abbildung 4.6 zeigt die Ausbausequenz für die atomaren Handlungen zur Demontage des VVT-Servomotors in RDF-Darstellung. Beide Vorgehensweisen sind äquivalent, da sie durch einfache Transformationsregeln in einander überführt werden können.

4.2.2 Metadaten basierte Erstellung

Die zuvor vorgestellten Metadaten dienen der Unterstützung des technischen Redakteurs. Exemplarisch lässt sich mit diesen Daten eine kleine Reparaturanleitung erstellen. Als Beispielreparatur dient das Ersetzen des Verstellmotors (auch VVT-Motor genannt) für die Exzenterwelle. Diese in Abbildung 4.7 dargestellte Reparatur ist sehr kurz, jedoch kann das Konzept der Metadaten basierten Erstellung anschaulich erklärt werden.

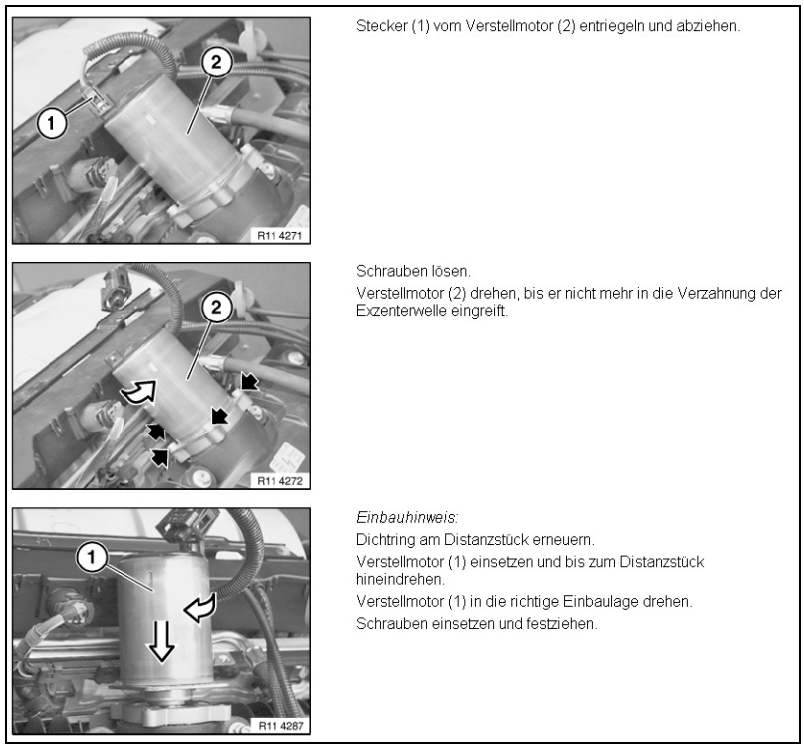

Stecker (1) vom Verstellmotor (2) entriegeln und abziehen.
R11 4271
Schrauben lösen.
Verstellmotor (2) drehen, bis er nicht mehr in die Verzahnung der Exzenterwelle eingreift.
R11 4272
Einbauhinweis:
Dichtring am Distanzstück erneuern.
Verstellmotor (1) einsetzen und bis zum Distanzstück hineindrehen.
Verstellmotor (1) in die richtige Einbaulage drehen.
Schrauben einsetzen und festziehen.
R11 4287

Abbildung 4.7: Ausbauanleitung des VVT-Motors [bmw02]

Aus dem in Kapitel 3.2.1 vorgestellten Dokumentenmodell ergibt sich die in Abbildung 4.8 dargestellte Reihenfolge der drei Arbeitsschritte. Das Dokumentenmodell gibt für den Ausbau des Servomotors den Vorgänger "Zündspulenabdeckung ausbauen" und für diesen Schritt den Vorgänger "Akustikabdeckung ausbauen" vor.

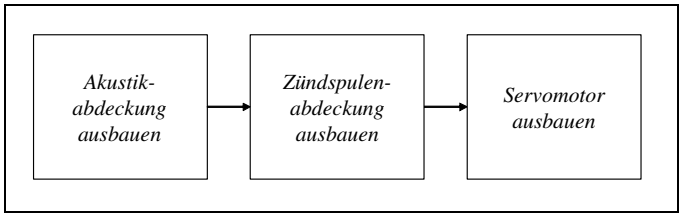


Abbildung 4.8: Anleitung "Servomotor ausbauen"

Anhand der Metadaten können die einzelnen Schritte in atomare Handlungsanweisungen untergliedert werden. Da die Akustikabdeckung mit vier Schrauben befestigt ist, ergeben sich die zwei Teilschritte "Schrauben lösen" und "Bauteil abnehmen". Diese beiden Handlungen entstammen der Menge atomarer Handlungen für den Anwendungsbereich "Reparaturanleitung". Der zweite Schritt ist laut zugehöriger Metadaten bereits atomar, da die Zündspulenabdeckung lediglich gesteckt ist.

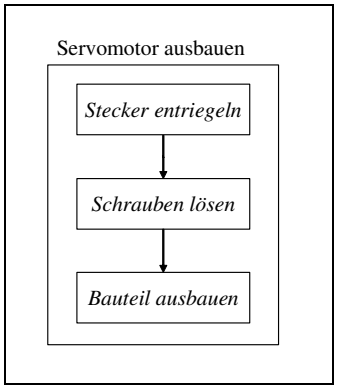


Abbildung 4.9: Untergliederung in atomare Teilschritte

Analog kann der dritte Schritt, der den Ausbau des Servomotors beschreibt, mit Hilfe der Metadaten aus dem vorangegangenen Kapitel in atomare Teilschritte unterteilt werden. Der Motor ist mit einem Kabel verbunden und mit vier Schrauben befestigt. Dadurch ergibt sich die in Abbildung 4.9 dargestellte Untergliederung. Die Reihenfolge dieser Schritte ist festgelegt durch die Metadaten im Feld "Ausbausequenz" (vgl. Abbildung 4.6).

4.2.3 Verallgemeinerung des Ansatzes

Aufbauend auf den Metadaten für die Reparaturanleitung können für alle Arten von technischen Dokumentationen entsprechende Zusatzinformationen bzw. Metadaten modelliert werden. Je nach Anwendung unterstützen die Metadaten die Erstellung der gewünschten Anleitung. Da Metadaten laut Definition (6) unterstützende Informationen für die Erstellung technischer Dokumentationen bereithalten können, muss der vorgestellte Ansatz verallgemeinert werden. Somit wird es möglich, Metadaten nicht nur Bauteilen und Werkzeugen zuzuweisen, sondern es können auch Einzelschritte, Abläufe und Anleitungen aus dem Dokumentenmodell attributiert werden. Die Attributierung einzelner Schritte ist insbesondere dann notwendig, wenn der Schritt nicht bauteilbezogen ist. Die Attributierung von Abläufen

ist notwendig, um Gültigkeiten und Randbedingungen festzulegen. Hierzu zählen vor allem Informationen, die später bei der Instanzidentifikation (vgl. Kapitel 5.1) benötigt werden. Metadaten der gesamten Dokumentation beinhalten bspw. Informationen wie die veranschlagte Reparaturdauer oder eine Indikation für die Durchführung einer bestimmten Anleitung.

4.2.4 Abschlussbemerkungen

Die Erstellung von technischen Dokumentationen unter Zuhilfenahme von Metadaten, welche Zusatzinformationen über Bauteile, Arbeitsschritte und gesamte Dokumente zur Verfügung stellen, ist eine unverzichtbare Methode, um eine Automatisierung des Erstellungsprozesses zu erreichen. Die Unterstützung durch Metadaten macht es möglich, das zu erstellende Dokument mit einer Genauigkeit von hundert Prozent an das reale Produkt anzupassen.

Eine Herausforderung ist es, eine einfache und effiziente Vorgehensweise zu finden, um die Metadaten korrekt und systematisch zu erfassen. Eine vordefinierte Klassifizierung wäre eine einfache Möglichkeit, die Bauteile mit Zusatzinformationen zu attributieren. Dann müsste der verantwortliche Konstruktionsingenieur oder der technische Redakteur ein Bauteil nur einer dieser Klassen zu ordnen. Eine detaillierte Beschreibung dieser Klassifizierung findet sich im folgenden Kapitel.

Da aber auch Schritte im Dokumentenmodell attributiert werden müssen, die nicht mit einem konkreten Bauteil verknüpft sind, muss auch hierfür eine Möglichkeit vorgehalten werden. Die Verantwortung hierfür liegt beim technischen Redakteur. Einerseits muss das Autorensystem eine manuelle Pflege ermöglichen und andererseits den Redakteur mit Vorschlägen unterstützen. Ein Konzept für eine derartige Autorenumgebung findet sich in Kapitel 5.3.

4.3 Klassifizierung

Die Anreicherung der verschiedenen Bauteile mit Zusatzinformationen, den so genannten Metadaten (vgl. Kapitel 4.2), ist ein aufwendiger Prozess, da im Extremfall alle Bauteile eines Produkts separat bearbeitet werden müssen. Im Falle eines modernen Automobils liegt die Anzahl der verbauten Teile bei zirka 20.000 Stück pro Fahrzeug. Um die Zuordnung von Metadaten zu vereinfachen und für einen automatisierten Prozess (vgl. Kapitel 2.4.6) vorzubereiten, wird im Folgenden eine Klassifizierung der Bauteile vorgeschlagen.

Als Grundlage für diese Klassifizierung dient das Paradigma der Objektorientierung bzw. der objektorientierten Programmierung. Dabei handelt es sich um ein Verfahren zur Strukturierung zusammengehöriger Daten und der darauf arbeitenden Logik. Die Vorteile der Objektorientierung liegen in der Modularisierung und der daraus bedingten Wiederverwendbarkeit der einzelnen Module. Zu den wichtigsten Merkmalen der Objektorientierung zählen die Vererbung und das Klassenkonzept. Dabei werden Vererbungsbeziehungen über Klassendefinitionen hergestellt [bro02].

Übertragen auf die vorliegende Problemstellung kann mit Hilfe der Klassifizierung eine Metaebene definiert werden, welche generische Metadaten beinhaltet und für ein Bauteil vorschlägt. Eine Zuordnung eines Bauteils zu einer Klasse kann unter Umständen auch automatisiert erfolgen (bspw. durch Auswertung der Bezeichnung des Bauteils).

4.3.1 Definition der Klassen

Als Grundlage für die Definition der Klassen wird die Klassifizierung der Norm- und Wiederholteile in iTMS[48] verwendet. Die hier verwendete Einteilung und Gruppierung der Bauteile dient dem Aufspüren von Dubletten, der Steigerung der Teilewiederverwendung und der Teilereduzierung. Die Abbildung 4.10 zeigt, dass heute schon eine Vielzahl von Metadaten an ein Bauteil geheftet wird. Eine Erweiterung dieser Daten stellt somit keine informationstechnische Herausforderung dar.

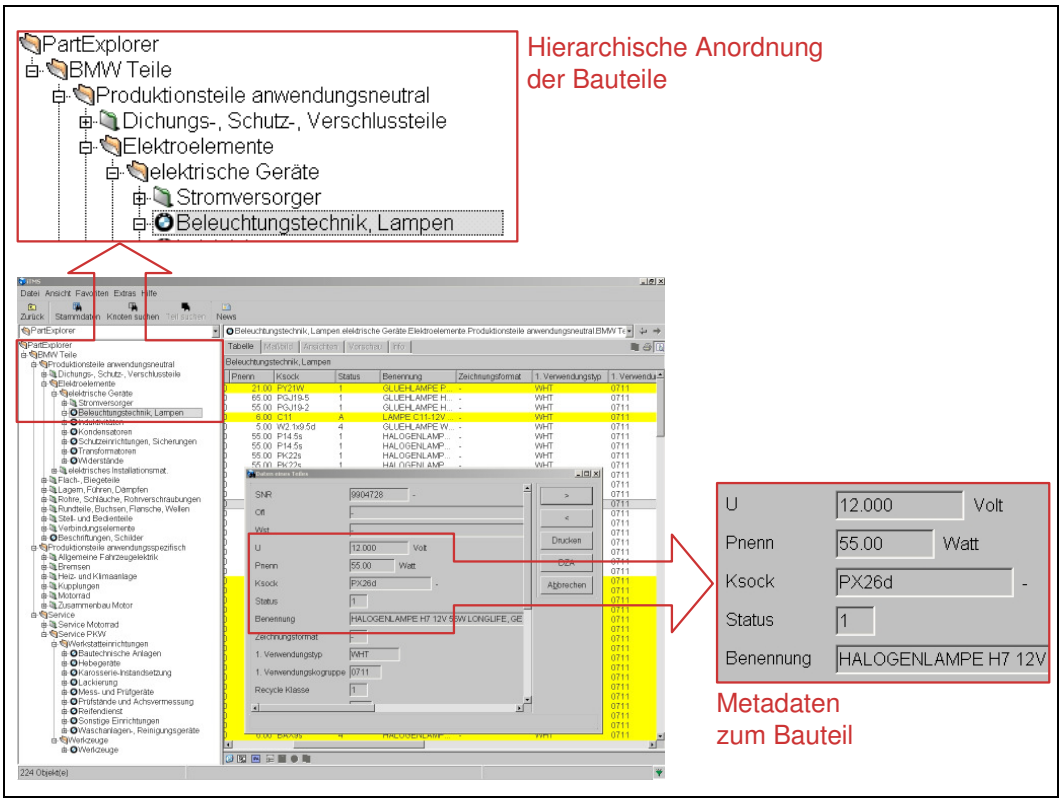


Abbildung 4.10: Screenshot aus dem iTMS[48]

Bei der Definition der Klassen können zwei grundsätzliche Wege verfolgt werden. Einerseits besteht die Möglichkeit, Norm- und Wiederholteile entsprechend zu attributieren, und somit alle derartigen Bauteile in allen Produktreihen abzudecken. Andererseits lassen sich auch Klassen definieren, die Bauteile beinhalten, welche nur selten oder gar nur einmal in einem Produkt vorkommen, dafür aber in mehreren verschiedenen Produkten eines Herstellers verbaut werden. Diese Art von Bauteilen wird als "anwendungsspezifisch" bezeichnet.

4.3.2 Beispielklassen

Anhand von zwei Beispielklassen soll im Folgenden die Idee der Klassifizierung von Bauteilen verdeutlicht werden. Es wurde jeweils ein Vertreter aus der Gruppe der Norm- und Wiederholteile, so genannte anwendungsneutrale Bauteile, und der Gruppe der anwendungsspezifischen Bauteile ausgewählt.

Verschraubung

Eines der meist verwendeten Bauteile in einem technischen Produkt sind Schrauben. Es gibt Schrauben in unzähligen Ausführungen und Varianten. Dennoch können aus Sicht der tech-

[48] iTMS ist ein Teilekatalog für Norm- und Wiederholteile hergestellt von der CADBAS GmbH

nischen Dokumentation alle Schrauben, unabhängig von deren technischen Größen, auf einen gemeinsamen Nenner gebracht werden.

Alle Schrauben haben ein Gewinde und werden demnach durch eine Rotation gelöst bzw. befestigt. Zu einem überwiegenden Anteil haben Schrauben ein Rechtsgewinde und werden somit durch Drehung nach rechts befestigt und nach links gelöst. In manchen Anwendungen ist ein Linksgewinde von Vorteil, um das unbeabsichtigte Lösen der Schraube zu verhindern. Daraus folgt, dass durch die Art des Gewindes, auch die Art der Manipulation zum Lösen bzw. Befestigen einer Schraube festgelegt ist. Das dafür notwendige Werkzeug ist abhängig vom Kopf der Schraube. Zuletzt muss einer Schraube das für die Montage notwendige Befestigungsmoment (abhängig vom Material) zugewiesen werden.

Da die zuvor genannten Eigenschaften nicht nur auf Schrauben zutreffen, sondern auf alle Verschraubungen, kann diese Klasse allgemeiner definiert werden. Hierzu zählen bspw. Schraubverschlüsse (Deckel für diverse Flüssigkeitsbehälter) oder die Befestigung des Ölfilters wie auch der VVT-Motor aus Abbildung 4.7.

Die Zuweisung eines Bauteils zur Klasse "Verschraubung" legt somit die Art der Montage bzw. Demontage, das notwendige Werkzeug und das Befestigungsmoment fest. Weitere Klassen für anwendungsneutrale Bauteile sind bspw. "Leuchtmittel", "Abdeckung" und "Räder".

Lüfterzarge
Ein Vertreter aus der Gruppe der anwendungsspezifischen Bauteile ist die Lüfterzarge aus dem Automobilbereich. Die Lüfterzarge ist ein Bauteil, welches pro Fahrzeug nur einmal vorkommt. Sinnvoll ist eine Definition der Klasse "Lüfterzarge" dennoch, da diese Komponente in jedem Fahrzeug eines Herstellers vorkommt. Somit muss eine Attributierung nur einmal vorgenommen werden und die Metadaten können allen Lüfterzargen zugewiesen werden.

Diese Vorgehensweise bietet sich für alle Bauteile an, die übergreifend über mehrere Baureihen bzw. Produktlinien verwendet werden. Dadurch lässt sich mit Hilfe der Kommunalitäten der Aufwand für die Attributierung minimieren. Weitere Vertreter dieser Gruppe sind z.B. "Wasserpumpe" und "Wischermotor".

4.3.3 Zuordnung zu einer Klasse

Für die Zuordnung zu einer Klasse gibt es sowohl die Möglichkeit einer automatisierten Zuordnung als auch der manuellen Nacharbeit. Manueller Aufwand entsteht vor allem bei neuartigen Bauteilen, die in ähnlicher Form noch nie verwendet wurden. Grundsätzlich entsteht dabei aber nicht mehr Aufwand als bei der heutigen Pflege der Produktdaten.

Eine Automatisierung ist durch die Auswertung der Benennung eines Bauteils möglich. Zur Klasse "Leuchtmittel" können alle Bauteile zugeordnet werden, die in ihrer Benennung den Wortteil "Lampe" enthalten ("Lampe", "Glühlampe", "Halogenlampe", etc.). Bei den anwendungsspezifischen Bauteilen ist die Zuordnung auch über deren eindeutige Identifikationsnummer möglich, sofern diese entsprechend strukturiert ist.

4.3.4 Abschließende Bemerkungen

Die hier dargestellte Klassifizierung ist ein erster Schritt in Richtung dynamische und automatisierte Anreicherung der Bauteile mit Metadaten. Um auf künftige Änderungen und

Erweiterungen der Bauteile und auch ihrer Metadaten flexibel reagieren zu können, müssen die Klassen in der Lage sein, im Laufe der Nutzung dynamisch erweitert zu werden.

4.4 Datenbereitstellung

Wie schon in der Zusammenfassung von Kapitel 2 erwähnt wurde (vgl. Tabelle 2.3), ist ein vorgeschalteter Prozess notwendig, welcher der technischen Redaktion arbeitsvorbereitende Tätigkeiten abnimmt und automatisiert. Diese so genannte "Datenbereitstellung" stellt die vollständige Verfügbarkeit aller Daten in der geforderten Detaillierung sicher. Dazu werden die erforderlichen Daten aus einer Datenbank extrahiert, durch die Datenbereitstellung geschleust und abschließend den Anschlusssystemen zur Verfügung gestellt (vgl. Abbildung 4.11).

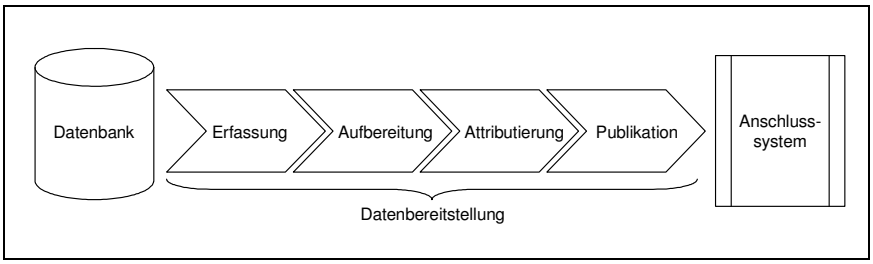


Abbildung 4.11: Unterteilung der Datenbereitstellung

Die Datenbereitstellung wird in vier Teilprozesse unterteilt. Jedem dieser Teilprozesse wird eine spezifische Aufgabe zu teil, welche in den folgenden Unterkapiteln näher beschrieben werden sollen. Dabei werden lediglich technische Anforderungen an den Datenbereitstellungsprozess gestellt. Die arbeitstechnischen Aspekte hingegen sind nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit und werden im Folgenden auch nicht näher berücksichtigt.

4.4.1 Erfassung

Eine wichtige Vorbedingung für den Einsatz neuartiger technischer Dokumentationen ist die vollständige Verfügbarkeit des Virtuellen Produkts. In erster Linie zählt hierzu die geometrische Repräsentation. Aber auch alle weiteren Produktdaten müssen verfügbar sein, um den Erstellungsprozess neuartiger technischer Dokumentationen bestmöglich zu unterstützen. Damit eine *Erfassung* der notwendigen Daten erfolgen kann, muss die technische Redaktion mit den unternehmensinternen und -externen Entwicklungsabteilungen in Verbindung stehen und eine Kooperation mit den Konstrukteuren anstreben. Dies ist wichtig, um ein besseres Verständnis für die Anforderungen der Redaktion zu etablieren.

Zu den wichtigsten Anforderungen an das Virtuelle Produkt zählen:

- Vollständigkeit des Virtuellen Produkts, insbesondere der geometrischen Repräsentation
- Darstellung aller Komponenten als Einzelteil (keine unzerlegbare Zusammenbauten und Baugruppen)
- Abbildung aller Varianten eines Produkts
- Identische Darstellung des Virtuellen Produkts über alle Produktlinien und Baureihen hinweg
- Pflege der Produktdaten während des gesamten Produktlebenszyklus

Neben diesen Basisanforderungen, welche den Aufbau und den Inhalt des Virtuellen Produkts betreffen, müssen Leistungsvereinbarungen mit den Konstrukteuren getroffen werden. Hierzu gehören die lebenslange Pflege der Daten wie auch eine Möglichkeit das Virtuelle Produkt gemäß den Instanzinformationen (vgl. Kapitel 5.1.1) konfigurieren zu können.

Nachdem diese Anforderungen erfüllt sind und die entsprechenden Leistungsvereinbarungen getroffen wurden, kann der Teilprozess *Erfassung* die benötigten Daten einsammeln und für die Aufbereitung zur Verfügung stellen. Eine wichtige Aufgabe der Erfassung ist in diesem Zusammenhang die Sicherstellung der Vollständigkeit. Ist diese nicht erfüllt, muss eine Meldung an die verantwortlichen Stellen im Unternehmen versandt werden, um die fehlenden Daten nachzufordern.

4.4.2 Aufbereitung

Die geometrischen Daten eines Produkts, welche im Konstruktionsprozess der Entwicklungsabteilungen entstehen, sind meist sehr detailliert und somit ist das aufkommende Datenvolumen sehr umfangreich. Zur Reduktion dieser Datenmenge müssen die Geometrien nachbearbeitet werden.

Konvertieren
Zur Datenaufbereitung gehört ebenfalls die Konvertierung der Geometrien ins geforderte Datenformat. Derzeit liegen die Geometrien in einem sehr detaillierten und entsprechend mächtigen CAD-Format vor. Für die Visualisierung im Rahmen neuartiger technischer Dokumentationen genügt eine gröbere Darstellung der Bauteile. Ein Beispiel für ein derzeit gängiges Format für Animationen in Virtual bzw. Augmented Reality ist VRML97.

Entkernen
Unter Entkernung versteht man die Entfernung der nichtsichtbaren Flächen einer Geometrie. Dadurch wird der Kern einer Komponente entfernt und nur die sichtbare Hüllgeometrie bleibt erhalten.

Tesselieren
Die CAD-Modelle der konstruierten Teile sind meist sehr detailliert. Für die Visualisierung im Rahmen der neuartigen technischen Dokumentation ist diese sehr feine Struktur nicht notwendig, so dass das konstruierte Modell durch einen Polygonzug angenährt werden kann. Diese Art der Datenreduktion wird in der graphischen Datenverarbeitung als Tesselierung bezeichnet. Dabei kann der Grad der Reduktion durch den Sehnenabstand reguliert werden.

Positionierung
Eine Geometrie ist im Normalfall korrekt positioniert, so dass das Metadatum "Position" redundant ist. Dennoch kann es vorkommen, dass Bauteile nicht nur einmal sondern mehrmals im Produkt verbaut werden. Dies ist insbesondere bei Norm- und Wiederholteilen der Fall, die an einer beliebigen Stelle konstruiert und dann an ihrer endgültigen Position instanziiert wurden. Dadurch ist die Position der Geometrie nicht korrekt und muss separat abgelegt werden oder die Geometrie nachträglich positioniert werden.

Einfärben
Während der Konstruktion eines Produkts werden die einzelnen Komponenten unterschiedlich eingefärbt, damit Bauteil- und Bauraumgrenzen direkt am Monitor beurteilt werden können. Diese Einfärbung entspricht keiner realistischen Farbgebung und muss somit nachträglich geändert werden.

4.4.3 Attributierung

Die aufbereiteten Daten müssen im Zuge der Vorbereitung für den Erstellungsprozess entsprechend der Anforderungen attributiert werden. Hierzu zählen in erster Linie die automatisierte Klassifizierung (vgl. Kapitel 4.3) der Bauteile und die damit verbundene *Attributierung* mit Metadaten (vgl. Kapitel 4.2). Darüber hinaus wird die Einteilung des Produkts in Dokumentationsräume (vgl. Kapitel 4.1.1) und funktionale Gruppen (vgl. Kapitel 4.1.2) auch durch Zuweisung entsprechender Attribute bewerkstelligt.

4.4.4 Publikation

Der (zeitlich) letzte Teilprozess ist die *Publikation* der Daten gemäß den Anforderungen für alle angeschlossenen Prozesse und Systeme. Dies kann entweder durch eine zentrale Datenbank erfolgen oder durch die direkte Weitergabe der Daten ohne Zwischenspeicherung. Dies hängt davon ab, wann die Daten benötigt werden und wie viele Prozesse auf diese Daten zugreifen müssen.

4.5 Zusammenfassung Produktstruktur

Um neuartige technische Dokumentationen effizient erstellen zu können, müssen die entsprechenden Eingangsdaten in geeigneter Form zur Verfügung stehen. Die meisten dieser Daten entstammen der Produktstruktur, welche als gemeinsame Datenbasis für viele Bereiche innerhalb des Produktentstehungsprozesses dient. Darum lag es nahe, die Produktstruktur gemäß den Bedürfnissen neuartiger technischer Dokumentationen anzupassen. Zunächst wurden der Produktstruktur zwei neue Sichten hinzugefügt. Die erste Sicht teilt ein Produkt in "Dokumentationsräume" auf, welche hilft die Vielzahl der Produktvarianten bei der Visualisierung zu minimieren. Des Weiteren wurden "Funktionsgruppen" definiert, die Bauteile zusammenfassen, welche gemeinsam eine Funktion erfüllen.

Damit einem Bauteil die Zugehörigkeit zu einem Dokumentationsraum, zu einer Funktionsgruppe und weitere Attribute hinzugefügt werden können, wurde in diesem Kapitel das Metadatenkonzept vorgestellt. Durch die Verwendung dieser Metadaten kann ein automatisierbarer Prozess zur Erstellung von technischen Dokumentationen aufgesetzt werden, dessen Konzept ebenfalls in diesem Kapitel beschrieben wurde. Um den Aufwand bei der Attributierung der Bauteile mit Metadaten gering zu halten, dient eine Klassifizierung als Grundgerüst, welches jedem Bauteil einer bestimmten Klasse vordefinierte Attribute und Merkmale zuweist.

Ein Teil der Attributierung sowie die Vorverarbeitung der Geometriedaten (z.B. Datenreduktion) kann in einen separaten Prozess ausgelagert werden, der selbständig bei Änderungen der Daten in der Produktstruktur ausgeführt wird. Die so genannte Datenbereitstellung übernimmt einen Teil der arbeitsvorbereitenden Tätigkeiten für die technische Redaktion.

5 DOKUMENTATIONSERSTELLUNG

In den Kapiteln 3 und 4 wurden die Voraussetzungen geschaffen, um einen Erstellungsprozess für neuartige technische Dokumentationen zu definieren. Das Kapitel 3 beschreibt den Aufbau und die Struktur der neuartigen technischen Dokumentationen, womit das Ziel bzw. das Ergebnis des Erstellungsprozesses dargestellt wurde. Um dieses Ergebnis zu erreichen, müssen die notwendigen Daten für die Erstellung zur Verfügung stehen. Diese Rahmenbedingungen wurden in Kapitel 4 geschaffen. Darauf aufbauend kann in diesem Kapitel nun der Erstellungsprozess aufgesetzt werden.

Der gesamthafte Prozess der Dokumentationserstellung gliedert sich in die Teilaufgaben für die Erstellung des Arbeitsablaufes und die aktive Hilfe bei der Animationserstellung. Den Abschluss dieses Kapitels bildet eine konzeptuelle Betrachtung der Autorenumgebung, die den technischen Redakteur bei seinen Aufgaben bestmöglich unterstützen und entlasten soll.

5.1 Erstellung des Arbeitsablaufes

5.1.1 Einführung anhand eines Beispiels

Die Erstellung des Ablaufes soll anhand eines einführenden Beispiels beschrieben werden. Angenommen wird folgendes Szenario, welches schematisch in Abbildung 5.1 dargestellt ist. Der Kunde kommt in die Werkstatt, weil er ein Problem bzw. einen Defekt an seinem Fahrzeug hat. Er schildert dies dem Serviceberater, welcher einen entsprechenden Auftrag für die Reparatur zusammenstellt. Dieser Auftrag enthält an erster Position die eindeutige Identifikation des Fahrzeuges und das Auslesen des Fehlerspeichers im Fahrzeug. Die elektronische Onboard-Diagnose kann aufgrund der im Fahrzeug verbauten Sensorik bestimmte Fehler identifzieren bzw. ausschließen.

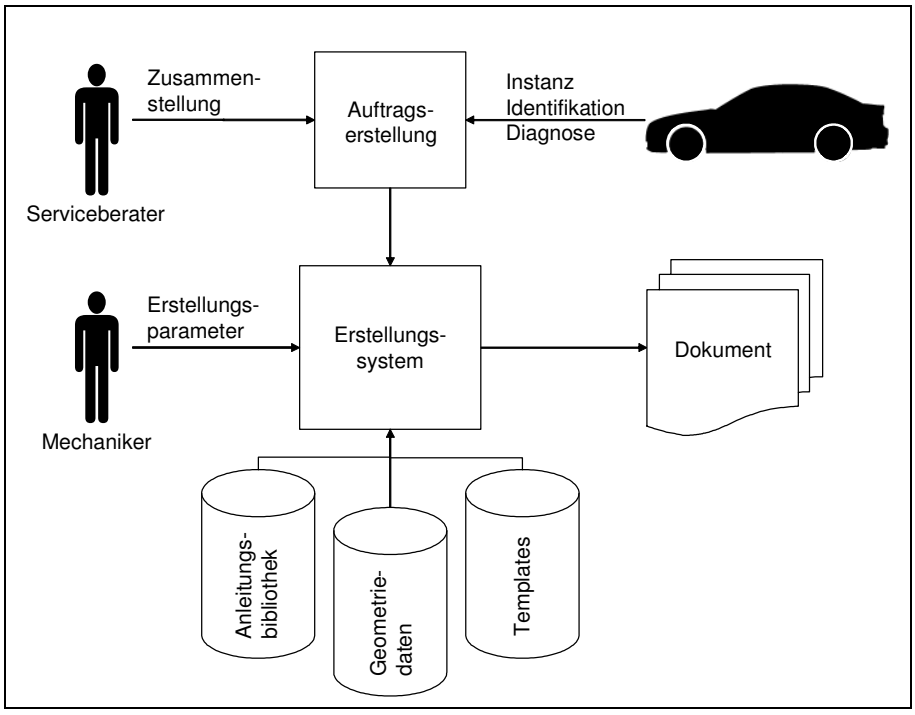


Abbildung 5.1: Ablauf der Dokumentationserstellung

Erstellungsindikation
Jede technische Dokumentation verfolgt ein bestimmtes Ziel, besitzt eine spezifische Aufgabe bzw. wird aus einem bestimmten Grund erstellt (vgl. Kapitel 2.1.2). Diese Indikation kann entweder vom Produkt selbst abgeleitet werden (bspw. durch eine Onboard-Diagnose) oder muss durch den Anwender (bspw. einen Mechaniker oder einen Serviceberater) erfasst und damit als eine Art Auftrag an das Erstellungssystem gestellt werden. Daraus ergibt sich ein Fehlercode (möglicherweise auch mehrere), der im Erstellungssystem für die Dokumentation ausgewertet wird. Aufgrund des Fehlercodes kann das Erstellungssystem eine entsprechende Dokumentation aus dem Dokumentenmodell in der Anleitungsbibliothek auswählen.

Vorteil dieses Vorgehens ist auch die Möglichkeit, für jede Kombination aus den Einträgen im Auftrag eine gemeinsame Dokumentation zu erstellen. So genannte Verbundarbeiten erscheinen für den Anwender in einer einheitlichen sequentiellen Reihenfolge. Doppelte Arbeiten werden dadurch vermieden. Ein Beispiel hierfür ist die Demontage der zwei Abdeckungen in Abbildung 3.2. Beide müssen in Vorbereitung für den Ausbau der Zündspulen und des VVT-Motors entfernt werden.

Instanzidentifikation
Um auch immersive Technologien für die Visualisierung einsetzen zu können, muss die Instanz des Produkts, für welches ein Dokument erstellt werden soll, genau identifiziert werden. Dazu dient bei technischen Produkten in der Regel eine Seriennummer[49], anhand derer eindeutig festgestellt werden kann, um welches Produkt und um welche Instanz es sich handelt. Im Automobilbereich sind bspw. Karosserieform, Motorisierung, Sonderausstattungen und Zubehör von Interesse, die Einfluss auf die Dokumentation haben können.

Nach dem die auszuführende Arbeit und das vorhandene Fahrzeug eindeutig identifiziert wurden, hat der Mechaniker die Möglichkeit, sich die Anleitung in verschiedenen Darstellungsformen und Detaillierungsgraden anzeigen zu lassen. Somit beeinflussen auch diese beiden Parameter den Erstellungsprozess.

Darstellungsform
Je nach Anwendung oder äußeren Umständen (bspw. Verfügbarkeit von entsprechender Hardware) bis hin zu individuellen Präferenzen des Anwenders kann die Visualisierungsart bzw. die Darstellungsform gewählt werden. Denkbar sind dabei alle in Kapitel 2.3 vorgestellten Darstellungsformen. Allerdings soll an dieser Stelle keine Beschränkung vorgenommen werden, um auch zukünftige, noch kommende Technologien nicht auszuschließen.

Detaillierung
Der Anwender soll abhängig von seinem eigenen Kenntnisstand oder seiner Erfahrung mit der durchzuführenden Arbeit die Detaillierung der Darstellung festlegen können. Die Bandbreite beginnt bei groben textuellen Übersichten, die nur die Arbeitsanweisungen enthalten und somit die Reihenfolge und die Vollständigkeit der Arbeitsschritte gewährleisten, und endet bei sehr detaillierten Anleitungen, die jede atomare Handlung veranschaulichen.

Wie man sieht, können die Parameter "Darstellungsform" und "Detaillierung" nicht gänzlich getrennt werden, da nicht jede beliebige Kombination zu einem vernünftigen Dokument führt. Um also die Anzahl der Erstellungsparameter sinnvoll zu begrenzen, können bestimmte Kombinationen zusammenfasst werden:

[49]In der Automobilbranche spricht man von der Fahrgestellnummer bzw. von der genormten Fahrzeugidentifikationsnummer.

- **Übersicht** → Nur textuelle Anweisungen und technische Größen
- **Kompakt** → Arbeitsschrittebene mit Text, Bildern und Virtual Reality
- **Detailliert** → Atomare Handlungen mit Virtual bzw. Augmented Reality

Derartige Voreinstellungen unterbinden in diesem Falle z.B. die Möglichkeit, eine detaillierte Anleitung auf Textbasis zu erstellen. Dies ist nicht immer erwünscht und deshalb können die obigen Kombinationen zwar voreingestellt aber auch angepasst werden.

5.1.2 Algorithmus

Nachdem alle Parameter und Randbedingungen erfasst wurden, ist der Erstellungsalgorithmus in der Lage, das erforderliche Dokument zu erstellen.

Auftrag analysieren

Zunächst muss der Auftrag analysiert werden. Er enthält ein Ziel, welches durch Ausführen der Anleitung erreicht werden soll. Im Dokumentenmodell wurde dazu jedem Knoten eine eindeutige Identifikationsnummer zugewiesen, welche mit dem entsprechenden Auftrag und den darin enthaltenen Fehlercodes korrespondiert. In Abbildung 5.2 wird dem Auftrag, welcher die Ausführung des Schrittes mit der Identifikationsnummer Q beinhaltet, der entsprechende Eintrag im Dokumentenmodell zugeordnet.

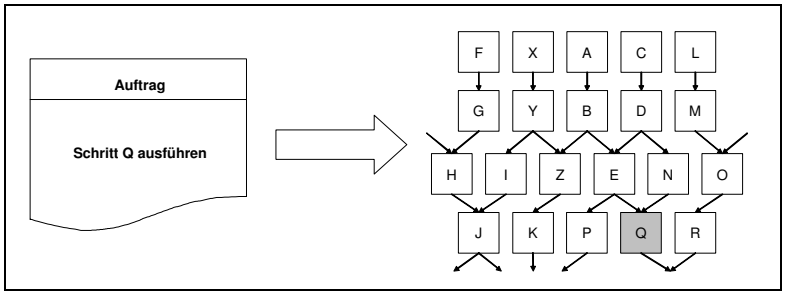


Abbildung 5.2: Zuordnung des Auftrags zum Dokumentenmodell

Alternativ kann auch die Auftragbezeichnung bzw. Zieldefinition als eindeutige Identifikation des Auftrags verwendet werden. In jedem Fall können dem Auftrag eindeutige Knoten im Dokumentenmodell zugewiesen werden.

Abhängigkeiten prüfen

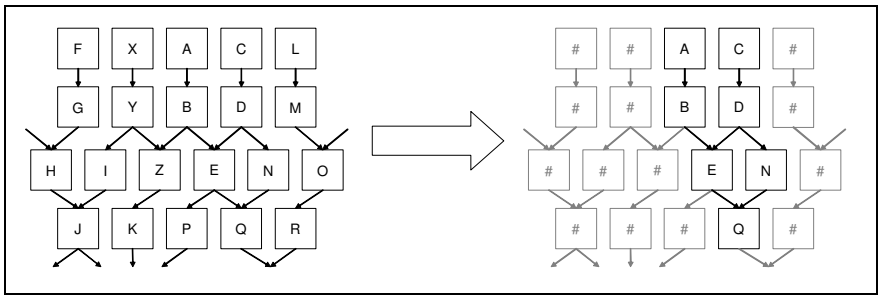


Abbildung 5.3: Bestimmung relevanter Abhängigkeiten

Ausgehend von den im Auftrag festgelegten Startknoten müssen alle relevanten Abhängigkeiten durch Auswertung der Vorgänger-Beziehungen identifiziert und die beteiligten Knoten

aus dem Dokumentenmodell extrahiert werden (vgl. Abbildung 5.3). Dadurch ergibt sich der generische Ablauf für diesen Auftrag unabhängig von der Instanz.

Instanzidentifikation
Damit die Anleitung mit einer möglichst hohen Genauigkeit (für immersive Technologien wird eine Genauigkeit von 100% gefordert (vgl. Kapitel 2.6)) zum realen Produkt passt, müssen aus dem generischen Ablauf diejenigen Schritte eliminiert werden, welche für die Durchführung am vorliegenden Produkt nicht benötigt werden. Dazu muss das Produkt und dessen Instanz eindeutig identifiziert werden.

In Abbildung 5.4 wird angenommen, dass die Schritte D und E für die Ausführung der zu erstellenden Anleitung nicht relevant sind. Dadurch können diese Schritte aus dem zugehörigen Graphen ausgeblendet werden. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass keine Abhängigkeiten verloren gehen. Zuvor bestand zwischen den Schritten B und Q keine direkte Abhängigkeit, diese muss aber nun hinzugefügt werden, da sonst die Schritte A und B verloren gehen würden. Zwischen D und Q muss jedoch keine neue Abhängigkeit modelliert werden, da hier eine transitive Abhängigkeit über den Schritt N besteht (vgl. Kapitel 3.2.5).

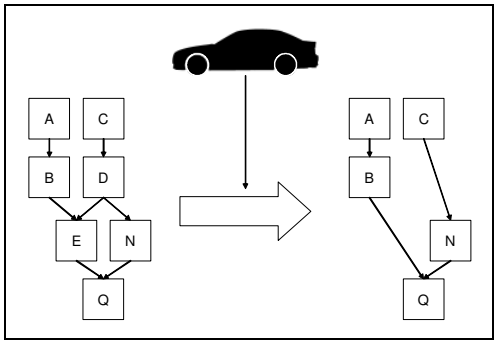


Abbildung 5.4: Verknüpfung mit der Produktinstanz

Sequenzialisierung
Der Ablauf, der aus dem Dokumentenmodell extrahiert wurde, ist noch nicht zwangsweise sequentiell modelliert, sondern kann teilweise aus parallelen Abläufen bestehen (vgl. Abbildung 5.4). Da der Anwender immer nur in der Lage ist, einen Arbeitsschritt nach dem anderen auszuführen, muss jeder Ablauf in eine sequentielle Reihenfolge überführt werden. In der Abbildung 5.4 bestehen nach dem Löschen nicht notwendiger Arbeitsschritte folgende Abhängigkeiten:

```
A ist Vorgänger von B.
B ist Vorgänger von Q.
C ist Vorgänger von N.
N ist Vorgänger von Q.
```

Für diese Abhängigkeiten ergeben sich somit sechs mögliche sequentielle Reihenfolgen:

```
1: A -> B -> C -> N -> Q.
2: A -> C -> B -> N -> Q.
3: A -> C -> N -> B -> Q.
4: C -> N -> A -> B -> Q.
5: C -> A -> N -> B -> Q.
6: C -> A -> B -> N -> Q.
```

Offensichtlich befinden sich unter diesen sechs Reihenfolgen sinnvolle Abfolgen und Abfolgen, die eher umständlich und aufwendig sein können. Deshalb soll an dieser Stelle eine Grundregel für die Sequenzialisierung definiert werden:

```
Teilabläufe dürfen bei der
Sequenzialisierung nicht unterteilt werden.
```

Für gewöhnlich werden zwei Arbeitsschritte, die im Dokumentenmodell unmittelbar aufeinander folgen, auch am selben Ort oder zumindest in der Nähe ausgeführt. Somit führt die Anwendung dieser Grundregel dazu, dass der Anwender bei der Ausführung seiner Arbeit seine Position nicht unnötig oft wechseln muss. Wendet man diese Regel auf die oben beschriebenen möglichen Ausführungsreihenfolgen an, so werden die Abfolgen 2, 3, 5 und 6 eliminiert.

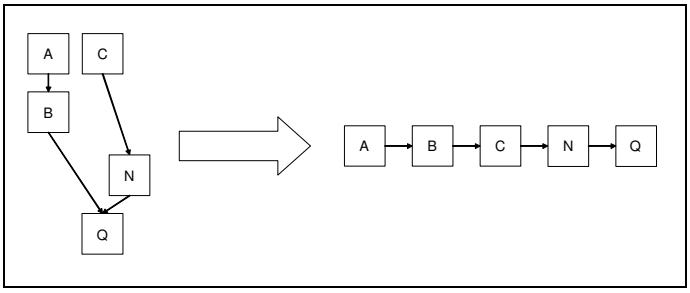


Abbildung 5.5: Sequenzialisierung der auszuführenden Schritte

Da zwischen parallelen Teilabläufen keine Abhängigkeiten bestehen (sonst wären sie nicht parallel), ist es für die Durchführbarkeit der Arbeit irrelevant, welcher Teilablauf zuerst ausgeführt wird. In Abbildung 5.5 wurde dem Teilablauf A -> B der Vorrang vor dem Teilablauf C -> N gewährt. Theoretisch wäre aber auch die Abfolge mit der Nummer 4 gültig.

Sollten für den Anwender dennoch Vorteile entstehen, wenn ein bestimmter Teilablauf zuerst ausgeführt wird, kann das Dokumentenmodell um so genannte *schwache Abhängigkeiten* erweitert werden. Eine schwache Abhängigkeit besagt, dass, wenn zwei parallele Abläufe durchzuführen sind, die Sequenzialisierung dieser Abläufe durch die schwache Abhängigkeit vorgegeben wird. Wird hingegen nur ein Teilablauf benötigt, kann die schwache Abhängigkeit ignoriert werden. Diese schwachen Abhängigkeiten werden vom technischen Redakteur aufgrund seiner Erfahrung explizit modelliert. Am Ende der Sequenzialisierung steht ein sequentieller Ablauf zur Verfügung, der nur noch Schritte enthält, die für die vorliegende Instanz relevant sind (vgl. Abbildung 5.5).

Detaillierungsgrad
Je nach gewählter Detaillierung des Ablaufes durch den Anwender können weitere Schritte aus dem Ablauf ausgeblendet werden. Angenommen der Schritt A im vorliegenden Beispiel (vgl. Abbildung 5.5) beinhaltet eine Handlungsanweisung, die für die meisten Anwender nicht notwendig ist (z.B. "Motorhaube öffnen"), kann diese bei der Detaillierungsstufe "Kompakt" (vgl. Kapitel 5.1.1) ausgeblendet werden.

Visualisierung
Schlussendlich sind nur noch Informationen vorhanden, die nun mit der gewählten Darstellungsform visualisiert werden können. Dies geschieht durch die Anzeige der assoziierten Texte und Bilder oder durch Erstellung der Animationen unter Verwendung des Template-Konzepts aus dem nächsten Unterkapitel.

5.2 Animationserstellung

5.2.1 Ansatz

Die Bewegungen, welche in einer neuartigen technischen Dokumentation angezeigt werden, sind meist unabhängig von der Anwendung. Somit lassen sich die Bewegungen an sich als atomare Bausteine betrachten, sofern eine Unterteilung der Bewegungen in möglichst kleine Sequenzen stattgefunden hat. Jeder dieser Bewegungen wird eine Vorlage (ein so genanntes Template) zugrunde gelegt [kno05]. In diesem Template ist die Basisbewegung enthalten, die über Parameter an die jeweilige Anwendung angepasst werden kann. Die Summe aller parametrisierbarer Templates ergibt eine Bibliothek, die für die spätere Erstellung der Animationen zur Verfügung steht. Dieser Ansatz mit Hilfe der Templates unterstützt die Wiederverwendbarkeit der Animationen in unterschiedlichen Anwendungsfällen unabhängig von den darzustellenden Objekten.

> **Definition (9): Template**
> *"Ein Template ist eine Vorlage, welche als Erstellungsgrundlage für eine Animation dient. Mit Hilfe von Parametern kann diese Animation an die jeweilige Anwendung angepasst werden. Ein Template ist unabhängig vom zu animierenden Objekt."*

Um ein Objekt zu animieren, existieren grundsätzlich zwei Bewegungsarten. Einerseits eine lineare Bewegung, die durch einen Start- und einen Endpunkt beschrieben werden kann, und andererseits eine Rotationsbewegung, welche als Parameter eine Rotationsachse besitzt. Aus diesen beiden Bewegungsarten lassen sich durch Kombination alle Basisbewegungen ableiten.

5.2.2 Analyse typischer Handlungsanweisungen

Um eine Bibliothek mit Templates aufzubauen, müssen zunächst repräsentative Bewegungen und auch Bewegungsabläufe in heutigen technischen Dokumentationen identifiziert und kategorisiert werden. Dafür wurden typische Aufgabenstellungen aus der technischen Dokumentation untersucht. Hierzu zählen bspw. das Wechseln des Ölfilters, das Ersetzen einer Komponente oder auch die Bedienung des Navigationssystems.

All diese Aufgabenstellungen basieren auf atomaren Handlungsanweisungen, die sequentiell ausgeführt werden müssen. Jede dieser atomaren Anweisungen besitzt vordefinierte Variablen, die entweder parametrisierbar oder fest vorgegeben sind. Somit kann einer Anweisung, sofern sie visualisiert werden sollen, genau ein Template zugeordnet werden. Im Folgenden wird ein Auszug aus den atomaren Handlungen vorgestellt, der für eine Anwendung in der technischen Dokumentation benötigt wird.

Befestigung lösen

Nahezu jede Komponente in einem Produkt ist auf eine geeignete Art und Weise befestigt. Erst die Befestigung mehrer Komponenten ergibt in Summe ein Produkt oder wenigstens eine Baugruppe. Ausnahmen bilden hier bspw. die Fußmatten in einem Fahrzeug oder Einlegeböden in einem Regal. Diese nicht befestigten Komponenten zeichnen sich dadurch aus, dass keine Peripherieelemente (wie Schrauben, Nägel, Bolzen, Klebstoff) zum Einsatz kommen. Beim Ausbau eines Bauteils ist also darauf zu achten, ob eines dieser Elemente verwendet wurde, und dann entsprechend entfernt werden muss. So gehören reine Steckverbindungen nach dieser Definition nicht zu den Befestigungen. Komponenten, die lediglich zusammengesteckt wurden, können direkt getrennt werden (vgl. "Komponente entfernen").

Die Klasse "Befestigung lösen" benötigt demnach als Parameter die Art der Befestigung und daraus resultierende Informationen. So werden Schrauben meist durch Drehung nach links gelöst, Nägel werden linear gezogen, etc. Für jede Fügetechnik müssen Informationen in der Wissensbasis (vgl. Kapitel 2.2) hinterlegt worden sein, welche Aufschluss darüber geben, wie die jeweilige Befestigung wieder getrennt werden kann. Die wichtigsten Parameter dieser Klasse sind:

- Die Art der Befestigung (Schraube, Klammer, Bolzen, etc.).
- Das benötigte Werkzeug, welches selbst auch wieder parametrisiert werden kann, abhängig von der jeweiligen Anwendung.
- Die Position des Werkzeuges relativ zur Befestigung. Diese Information kann abhängig von der Anwendung sein, sie ist aber in der Regel klar zuzuordnen und kann von vornherein festgelegt werden. So wird bspw. ein Schraubenzieher zum Lösen einer Schraube immer in derselben Art und Weise verwendet.
- Die Bewegung des Werkzeuges muss angegeben werden. Diese Bewegung kann selbst wieder als Template definiert werden (bspw. die Bewegung einer Ratsche).
- Die Bewegung der Befestigung, während sie gelöst wird. Auch das kann ein unabhängiges Template sein (bspw. Linksdrehung und gleichzeitige lineare Bewegung entlang der Rotationsachse).
- Sicherheitsinformationen, die Aufschluss über Gefahren geben, bspw. ob ein Bauteil, bevor die letzte Befestigung gelöst wird, gesichert werden muss, damit es kein Verletzungsrisiko für den Mechaniker darstellt oder die Komponente nicht durch Herunterfallen beschädigt wird.

Komponente entfernen
Während einer Reparatur müssen oft mehrere Bauteile entfernt werden, um an den eigentlichen Ort der Reparatur zu gelangen. Unter Umständen kann eine Reparatur auch lediglich aus dem Ersetzen einer Komponente, also dem Ausbauen des schadhaften Teils und dem Einbauen eines Neuteils, bestehen. Nachdem eine ggf. vorhandene Befestigung entfernt wurde, kann das Bauteil entfernt werden. Um diesen Vorgang visualisieren zu können, sind folgende Informationen notwendig:

- Die Bewegung des Bauteils, um es zu entfernen. Meist sind dies lineare Bewegungen, z.B. um eine Abdeckung oder ein Steuergerät zu entfernen. Es können aber auch Rotationen für das Öffnen eines Deckels oder Spezialbewegungen hinzukommen.
- Für Rotationen ist eine Rotationsachse notwendig.
- Der Endpunkt der Bewegung.
- Informationen über geeignete Stellen, an denen der Mechaniker die Bauteile anfassen soll.
- Informationen über versteckte, d.h. für den Mechaniker nicht einsehbare, Steckverbindungen, damit diese beim Ausbau nicht beschädigt werden.

Stecker entriegeln
In den meisten technischen Produkten werden eine Vielzahl an Steuergeräten, Aktuatoren und Sensoren eingesetzt, die via Kabelverbindungen in Kontakt miteinander stehen. An den Schnittstellen befinden sich in der Regel Steckverbindungen, die beim Ausbau einer dieser Komponenten gelöst werden müssen. Am Markt sind viele verschiedene und für jede Anwendung angepasste Varianten von Steckern verfügbar. Somit kann das Entriegeln einer solchen Steckverbindung, nicht verallgemeinert werden und muss deshalb durch geeignete Parameter definiert werden:

- Die Art des Steckers.
- Die Befestigung für den Stecker (z.B. Clip, Schraube, Verrastung).
- Ein zur Befestigung assoziiertes Werkzeug (z.B. Schraubenzieher, Finger).

Schalter manipulieren
In Betriebsanleitungen werden Funktionen und deren Bedienung beschrieben. Dazu gehört oft die Manipulation von Schaltern und Knöpfen. Unter Manipulation ist jegliche Art der Interaktion durch den Benutzer gemeint. Knöpfe können in der Regel gedrückt und gedreht werden, Schalter werden ebenfalls gedrückt oder gekippt. All diese Manipulationen lassen sich über Templates abbilden und standardisieren.

Als Ergebnis dieser Untersuchung kann festgehalten werden, dass sich die Bewegungsabläufe in diesen ausgewählten Handlungen durch die beiden Bewegungsarten Rotation und Translation abbilden lassen. Durch Kombination der Bewegungsarten lassen sich generische Templates definieren, die sich später, je nach Anwendungsfall, modular anwenden lassen.

5.2.3 Auszug aus einer Template-Bibliothek

Beispielhaft wird im Folgenden ein Auszug aus einer Template-Bibliothek dargestellt. Aufbauend auf der zuvor durchgeführten Analyse lassen sich diverse Templates definieren, welche als Vorlage für eine zu erzeugende Animation verwendet werden können. Die Bezeichnung des Templates ist dabei stellvertretend für einen Anwendungsfall gewählt, stellt aber keine Einschränkung für die Verwendung in weiteren Fällen dar.

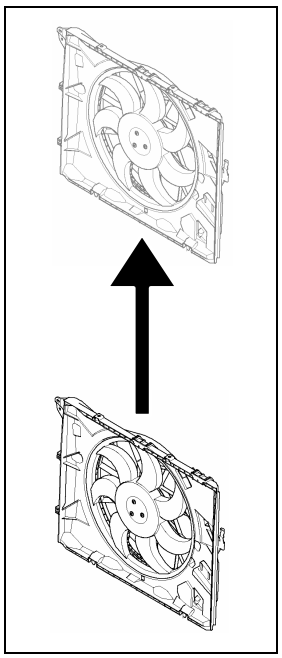


Abbildung 5.6: Lineare Bewegung der Lüfterzarge nach oben

Bauteil linear bewegen
Der Ausbau eines Bauteils ist im einfachsten Fall eine lineare Bewegung der Komponente vom Ursprungsort zu einer Zielposition (vgl. Abbildung 5.6). Dadurch ergeben sich als Parameter für dieses Template die Positionsangabe für den Endpunkt der Animation sowie einen Zeitpunkt, der definiert, wann die Animation abgeschlossen sein soll. Daraus ergibt sich implizit die Geschwindigkeit der Animation.

Bauteil drehen
Oft können Bauteile nicht rein linear ausgebaut werden, sondern müssen gedreht bzw. gekippt werden. Ein einfaches Beispiel zeigt die Abbildung 5.7. Hier muss der Öldeckel zum Öffnen gedreht werden. Parameter dieses Templates sind der Rotationswinkel und die zugehörige Rotationsachse.

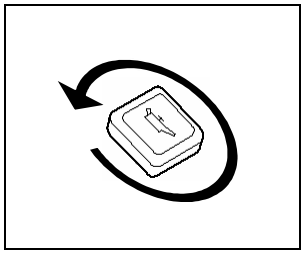


Abbildung 5.7: Drehung zum Öffnen des Öldeckels

Aus den beiden Templates "Bauteil linear bewegen" und "Bauteil drehen" lassen sich durch entsprechende Kombination alle für eine Animation notwendigen Bewegungen zusammenstellen. Um den Autor bzw. den automatisierten Erstellungsprozess zu unterstützen, sollen häufig vorkommende Kombinationen als eigenes Template definiert werden. Insbesondere können in diesen für einen Anwendungsfall spezifizierten Templates Voreinstellungen getroffen werden, so dass der manuelle Aufwand weiter sinkt.

Verschraubung lösen
Eine für die technische Dokumentation typische Handlung ist eine Verschraubung zu lösen. Zu den Verschraubungen zählen alle Bauteile, welche durch ihre Klassifizierung zur Klasse der Verschraubungen zugeordnet wurden (vgl. Kapitel 4.3.2). All diese Bauteile haben die Gemeinsamkeit, dass sie zur Demontage gedreht werden müssen und sich dadurch entlang einer Geraden von ihrem Einbauort entfernen. Die Parameter für dieses Template sind somit:

- die Rotationsrichtung
- die Richtung der Translation und
- die gemeinsame Achse für Rotation und Translation.

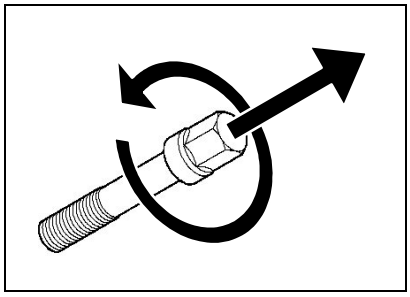


Abbildung 5.8: Kombination aus Translation und Rotation

Für alle drei Parameter lassen sich sinnvolle Voreinstellungen definieren, die einen Großteil aller Anwendungsfälle abdecken können. So ist die Rotationsrichtung einer Verschraubung bei der Demontage in der Regel nach links, die Verschraubung bewegt sich dabei abhängig von der Rotationsrichtung und die gemeinsame Achse steht senkrecht zum zugehörigen Gewinde (vgl. Abbildung 5.8).

Für die inverse Animation (Anwendung bei der Montage) müssen lediglich die Richtungen der Bewegungen geändert werden. Daraus ergibt sich das Template "Verschraubung montieren". Dieses Template muss nicht explizit in der Bibliothek abgelegt werden, sondern es genügt eine Information darüber, welche Parameter bei der Montage invertiert werden müssen.

Bauteil kippen

In einem Produkt, speziell in einem Fahrzeug, befinden sich zahlreiche Klappen bzw. Türen. All diese Bauteile haben die Gemeinsamkeit, dass sie für eine Animation (öffnen und schließen) um einen bestimmten Winkel und eine bestimmte Achse gekippt werden müssen. Die Rotationsachse ist dabei eine der Außenkanten des Bauteils. Dies ist somit ein Spezialfall des Templates "Bauteil rotieren". Für das Template ergeben sich daraus folgende Parameter:

- die Rotationsrichtung
- die Rotationsachse und
- der Rotationswinkel.

Wie auch beim vorherigen Template können Voreinstellungen für die einzelnen Parameter vereinbart werden, welche sich auch in Abhängigkeit vom zu animierenden Bauteil entsprechend ändern können. Die Werte der Parameter können als Metadaten (vgl. Kapitel 4.2) modelliert und durch die Klassifizierung (vgl. Kapitel 4.3) ein Vorschlag generiert werden. Dies gilt insbesondere für die Befestigungspunkte des Bauteils, deren Verbindung durch eine Gerade die Rotationsachse ergibt.

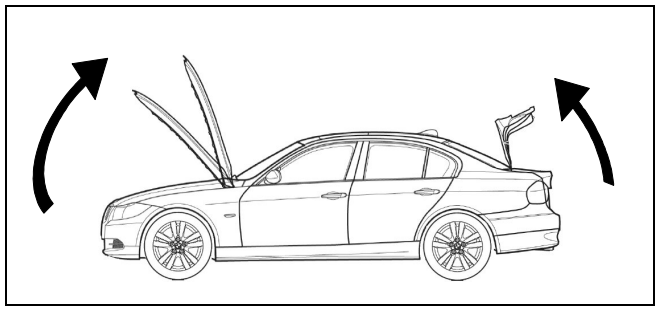


Abbildung 5.9: Bewegung einer Klappe beim Öffnen

Dieses Template kann nicht nur auf Klappen und Türen angewendet werden, sondern passt auch für die Bewegung eines Kippschalters, das Umlegen der Rückenlehne eines Vordersitzes oder auch der Rückbank.

Knopf manipulieren

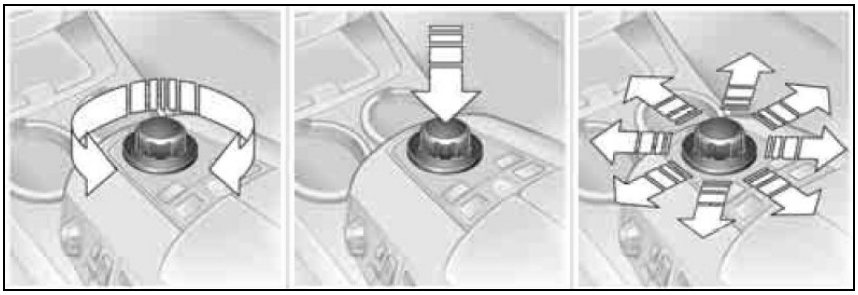


Abbildung 5.10: Bedienung des Controllers für das iDrive eines BMW 7er [bmw06]

Bei der Bedienung eines Produkts müssen diverse Bedienknöpfe manipuliert werden. Die Abbildung 5.10 zeigt die möglichen Interaktionsmöglichkeiten eines Knopfes. In diesem Fall kann der Knopf gedreht, gedrückt und geschoben werden. Für jede dieser drei Interaktionsmöglichkeiten wird ein separates Template definiert, welches sowohl feste Parameter (z.B. die Rotationsachse des Knopfes) besitzt als auch durch folgende Parameter eingestellt werden kann:

- **Knopf drehen** → Rotationsrichtung angeben (links, rechts)
- **Knopf drücken** → keine Parameter notwendig
- **Knopf schieben** → Richtung angeben (oben, oben-links, links, etc.)

Möglich ist hier auch ein hierarchischer Aufbau der Templates. Somit lässt sich ein Template "Knopf nach rechts drehen" definieren, welches dann das Template "Knopf drehen" aufruft und den entsprechenden Parameter übergibt.

Darüber hinaus ist auch denkbar, dass eine Funktion des Produkts, welche aufgerufen werden soll, mit einem entsprechenden Template attributiert wird. Templates können demnach mit einem Bauteil und einer Funktion verknüpft sein.

Blinkendes Bauteil
Im Kompaktmodus (vgl. Kapitel 5.1.1) sollen unter Umständen nicht alle Schritte animiert werden, dennoch muss eine vollständige Dokumentation zur Verfügung stehen. Um einem erfahrenen Anwender kurz zu veranschaulichen, welche Bauteile in welcher Reihenfolge demontiert werden sollen, können diese durch Blinken hervorgehoben werden. Anschließend werden die Bauteile ausgeblendet, um den Fortschritt der Demontage darzustellen.

Anwendungsspezifische Templates
Neben den zuvor gezeigten neutralen Templates lassen sich auch anwendungsspezifische Vorlagen erstellen, die dann genau für die Animation eines bestimmten Bauteils in einem bestimmten Anwendungsfall definiert sind. Dazu gehören primär Bewegungsabläufe, die während der Produktentwicklung im Rahmen der geometrischen Integration bestimmt wurden. Daraus ergeben sich bauteilspezifische Animationspfade, die in einem Template hinterlegt werden können, um dann in der technischen Dokumentation wieder verwendet werden zu können. Die Abbildung 5.11 zeigt fünf Einzelbilder aus einem anwendungsspezifischen Template, welches der Bewegung eines Cabrioverdecks während des Öffnens zugrunde liegt.

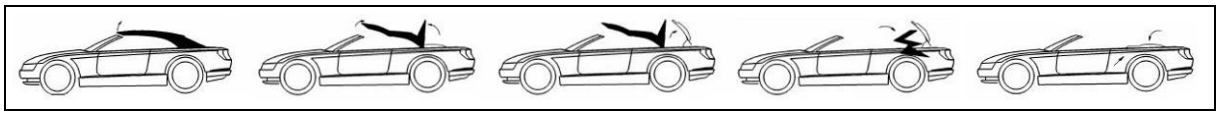


Abbildung 5.11: Einzelbilder der Verdeckkinematik

Ein anderes Beispiel ist die Einstellung der vorderen Sitze eines Automobils. Die Abbildung 5.12 zeigt Auszüge aus verschiedenen Betriebsanleitungen. Man kann leicht erkennen, dass die Einstellung der Sitze immer nach demselben Schema durchgeführt werden muss. Dennoch wurde für jede Anleitung eine separate Darstellung erneut angefertigt. Durch den Einsatz eines entsprechenden Templates besteht hier Vereinfachungspotenzial.

Abbildung 5.12: Sitzeinstellung der Modelle BMW 1er, 3er und 5er [bmw04b]

Das Template sollte die drei Bedienungsmöglichkeiten des Knopfes für Längsrichtung, Höhe und Neigung enthalten. Daneben können dem Template standardisierte Parameter der Kameraposition für die Erstellung der Abbildung aus dem CAD-Modell sowie die relativen Positionen für die Pfeildarstellungen zugewiesen werden.

5.2.4 Erweiterung des Template-Konzepts

Die zuvor gezeigten Templates enthalten als Hauptinformation eine charakteristische Bewegung. Für die Zukunft soll dennoch nicht festgelegt werden, dass ein Template ausschließlich Bewegungsinformationen enthält. Laut Definition (9) kann ein Template alle Informationen enthalten, die einer Animation zugrunde liegen. Neben der Bewegung des Objekts zählen dazu die Beleuchtung, die Umgebung, die Kameraführung, die Vertonung und weitere Informationen, die am Beginn oder am Ende der Animation eingeblendet werden können.

Mit Hilfe dieser Erweiterung sind die Templates auch auf weitere Arten der technischen Dokumentation anwendbar (vgl. Kapitel 2.1.2). Wird bspw. die Funktionsweise des Allradantriebs anhand einer Animation mit einem BMW 5er visualisiert und die Parameter dieser Animation in einem Template festgehalten, so kann die Animation automatisiert auf alle weiteren Fahrzeuge mit Allradantrieb übertragen werden.

Auf der anderen Seite kann eine Animation auch aus einem Einzelbild bestehen. Damit ergibt sich ein Standbild, welches als Grundlage für die Erstellung von Anleitungen, welche auf Text und Bild basieren, herangezogen werden kann. Typischerweise enthält solch ein Template die Kameraposition, deren Perspektive und weitere Kameraparameter.

5.3 Autorenumgebung

5.3.1 Abgrenzung der Begriffe

Unter dem Begriff "Autorensystem" versteht man nach [bro02] ein Programm, welches zum Erstellen von Multimedia-Software (z.B. Schulungsunterlagen, Lernsoftware, Internetinhalte) dient. Mithilfe des Autorensystems werden unterschiedliche Komponenten wie Text, Grafik, Sound und andere Elemente in Beziehung zueinander gesetzt und zu einem Ganzen verknüpft (vgl. Kapitel 2.4.3). Der Begriff "Autorenwerkzeug" wird oft synonym verwendet. Eine Übersicht über existierende Autorensysteme findet sich in Kapitel 2.4.4.

Um deutlich zu machen, dass für den Erstellungsprozess neuartiger technischer Dokumentationen nicht allein ein System für die Erstellung der Informationseinheiten notwendig ist, soll in der vorliegenden Arbeit der Begriff "Autorenumgebung" verwendet werden. Eine Autorenumgebung umfasst alle Prozesse und Systeme, auf welche der Redakteur während seiner

Arbeit Zugriff haben muss. Zu dieser Umgebung zählen die vorbereitenden Tätigkeiten (Datenbereitstellung), die Erstellung und Pflege der Arbeitsabläufe sowie die Bearbeitung der einzelnen Informationseinheiten.

5.3.2 Zielsetzung

Der Erstellungsprozess für neuartige technische Dokumentationen erfordert eine neu gestaltete Autorenumgebung, welche den technischen Redakteur bei seiner Arbeit optimal unterstützt und den gesetzten Anforderungen (vgl. Kapitel 2.6) gerecht wird. Nach wie vor ist der erstellende Redakteur verantwortlich für die technische Korrektheit des Inhalts einer Dokumentation. Entlastet werden soll der Redakteur bei der Visualisierung der Informationen und bei der Adaption der Dokumente auf eine Instanz eines Produkts und den jeweiligen Anwendungsfall.

Die Zielsetzung ist es, die Erstellung des Inhalts von der späteren Darstellung zu entkoppeln. Der Redakteur wird nicht mehr wie bisher die einzelnen Dokumente komplett erstellen, sondern er muss Sorge dafür tragen, dass die einzelnen Bausteine, aus der eine technische Dokumentation besteht, für den Erstellungsprozess verfügbar und inhaltlich korrekt sind. Auch bei dieser Aufgabe wird der Redakteur durch die Autorenumgebung unterstützt. Durch Kombination der Bausteine kann der Erstellungsprozess dem Anwender (z.B. Mechaniker) eine Instanz eines Dokuments zum gewünschten Zeitpunkt zur Verfügung stellen.

Zu den Bausteinen zählen die Dokumente aus dem Dokumentenmodell, die attributierten Geometriedaten und die Animations-Templates. Durch diese Untergliederung des Inhaltes einer technischen Dokumentation in seine separaten Bestandteile, können innerhalb der technischen Redaktion Spezialisten für die Erstellung und Pflege der jeweiligen Inhalte beauftragt werden. Der Techniker, der über die Reparatur und die notwendigen Informationen für den Anwender Bescheid weiß, beschreibt den Ablauf der Anleitung, und der Animator erstellt die Animationen so, dass diese die gewünschte Information optimal darstellen. Für den späteren Anwender (z.B. den Mechaniker) birgt diese Vorgehensweise den Vorteil, dass die Dokumente einheitlich und die Informationseinheiten gemäß der Erwartungskonformität analog aufgebaut sind.

5.3.3 Funktionalität

Die Autorenumgebung soll alle in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Konzepte und Prozesse unterstützen. Deshalb müssen folgende Funktionalitäten angeboten werden:

- Innerhalb der Autorenumgebung müssen die Erstellung und die Pflege des Dokumentenmodells und der damit verbundenen Zusammenstellung der zeitlichen Abfolge der Arbeitsschritte einer technischen Dokumentation möglich sein.

- Jeder Arbeitsschritt besitzt spezifische Metadaten (z.B. produktbezogene Daten, Klassifizierung, Gültigkeitsbereich), welche der Redakteur bearbeiten können muss.

- Die Autorenumgebung soll die Erstellung und die Manipulation der Templates sowie deren Parameter, welche die Grundlage für Animationen bilden, unterstützen.

- Die Parameter der Datenbereitstellung, welche z.B. die Aufbereitung der Geometriedaten übernimmt, sollen durch den Autor angepasst werden können.

5.4 Zusammenfassung Erstellungsprozess

Der Erstellungsprozess gliedert sich grob aufgeteilt in zwei Bereiche. Zum einen in die Erstellung der Arbeitsabläufe und deren logischer Verknüpfung sowie in die Erstellung der Animationen. In diesem Kapitel wurde ein Erstellungsalgorithmus vorgestellt, der auf dem in Kapitel 3 vorgestellten Dokumentenmodell aufsetzt. Mit Hilfe einer Unterteilung in Teilaufgaben bei der Erstellung kann der Algorithmus jederzeit an Änderungen angepasst werden.

Für die Erstellung der Animationen wurde der Einsatz von Templates propagiert. Ein Template beinhaltet eine Vorlage für eine Bewegung, welche unabhängig vom zu bewegenden Objekt definiert wurde. Somit bilden die Templates einen weiteren modularen Baustein, der in einer Vielzahl von Dokumenten wieder verwendet werden kann. Beispielhaft wurden Templates definiert, die mit geringem Aufwand zu einer Template-Bibliothek ausgebaut werden konnten.

Den Abschluss dieses Kapitels bildete ein kurzer Überblick über die zu entwerfende Autorenumgebung. Es wurden die Zielsetzung und die notwendigen Funktionalitäten grob beschrieben und gruppiert. Eine ausführliche Beschreibung der implementierten Umfänge und der Gestaltung der graphischen Benutzerschnittstelle finden sich im nächsten Kapitel.

6 UMSETZUNG & VALIDIERUNG

6.1 Voraussetzungen & Randbedingungen

Um die in den vorangegangenen Kapiteln gezeigten Ideen, Konzepte und Ansätze validieren zu können, wurden Teilumfänge auch in einem Demonstrator umgesetzt. Der Demonstrator dient zur Veranschaulichung des gesamthaften Erstellungsprozesses und der späteren Autorenumgebung für die technische Redaktion.

Für die Datenbereitstellung wurden Anforderungen definiert, die es erlauben eine Datenbasis gemäß den entsprechenden Randbedingungen zu befüllen. Diese Datenbereitstellung ist nicht Umfang der Validierung gewesen, da sie nicht allgemeingültig umgesetzt werden kann. Sie ist stark abhängig von den Gegebenheiten, die im jeweiligen Einsatzgebiet vorherrschen. Um dennoch eine Testumgebung aufbauen zu können, wurde eine exemplarische Datenbasis manuell mit Daten befüllt.

Als Testumgebung für den Demonstrator dient die Instandsetzungs- und Wartungsdomäne für Automobile. Aus diesem Grund beschränken sich die implementierten Konzepte und die befüllten Beispieldaten auf das Produkt "Fahrzeug". Dadurch werden jedoch die grundsätzliche Funktionalität und die Erweiterbarkeit auf weitere Anwendungsgebiete nicht eingeschränkt.

Für die Anzeige der erstellten Anleitungen kommt das Ablaufsystem aus den Projekten ARVIKA [arv03] bzw. ARTESAS [art06] mit den spezifischen Erweiterungen der BMW Group zum Einsatz. Dies beinhaltet die Einschränkung, dass momentan nur Anleitungen basierend auf Augmented Reality verarbeitet werden können. Eine Erweiterung um weitere Medien (vgl. Kapitel 2.3) ist für die Zukunft angedacht. Für die Validierung des Erstellungsprozesses spielt diese Einschränkung jedoch nur eine untergeordnete Rolle und hat keinen Einfluss auf das Ergebnis.

Darüber hinaus ist das oben genannte Ablaufsystem noch nicht in der Lage, Diagnose- und Instanzinformationen zur Adaption der Reparaturanleitung an das konkrete Fahrzeug zu verarbeiten. Da dies aber eine Grundvoraussetzung für die Extraktion eines Dokuments aus dem Dokumentenmodell ist, kann die automatische Adaption der Anleitung an die Instanz nur simuliert werden (vgl. Kapitel 5.1).

6.2 Konzept der Autorenumgebung

6.2.1 Die Autorenumgebung im Überblick

Die Autorenumgebung bildet die Schnittstelle zwischen den Produktdaten und der Dokumentation. Die Abbildung 6.1 zeigt die Eingliederung der Autorenumgebung in den Prozess, dessen Ergebnis ausgehend von den Daten aus der Produktentwicklung die technische Dokumentation ist. Dieses Schema ist die Grundlage für die Umsetzung des Demonstrators. Mit seiner Hilfe kann der Datenfluss simuliert werden, um den gesamten Erstellungsprozess zu validieren und Ansatzpunkte für Verbesserungen zu identifizieren.

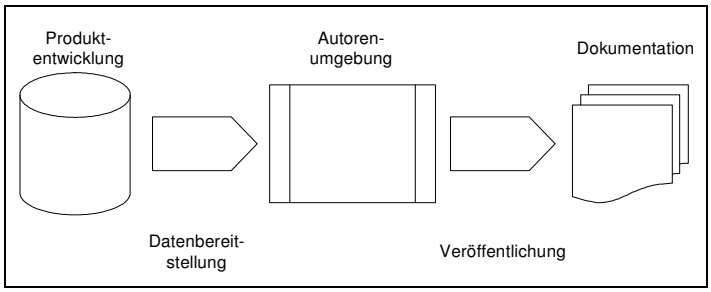


Abbildung 6.1: Schematische Darstellung der Autorenumgebung und Anschlusssysteme

6.2.2 Benutzeroberfläche

Dem Konzept für die Gestaltung des Demonstrators liegt die Vorgehensweise bei der Erstellung eines Arbeitsablaufes zugrunde. Dabei kommt es zu mehrfachen Wiederholungen der in Abbildung 6.2 dargestellten Schritte [mir06]. Zunächst wird ein Arbeitsschritt ausgewählt, der als nächstes in das Dokumentenmodell integriert werden soll. Dieser wird auf der Arbeitsfläche angeordnet und seine spezifischen Eigenschaften bearbeitet. Dazu zählen vorrangig die Benennung mit einer Arbeitsanweisung und die Zuweisung einer Visualisierung in Form eines Bildes, eines Videos oder einer AR-basierten Informationseinheit. Zum Abschluss kann der neue Arbeitsschritt mit bereits vorhandenen Arbeitsschritten verbunden werden.

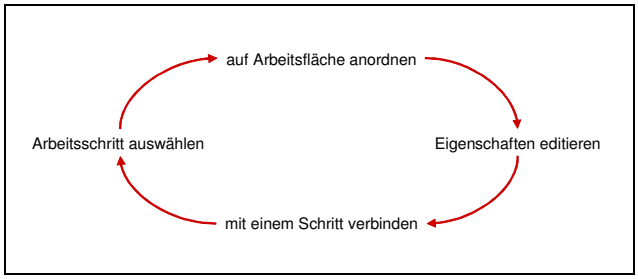


Abbildung 6.2: Vorgehensweise zur Erstellung einer Anleitung [mir06]

Diesem Schema folgend wurde die Benutzeroberfläche gestaltet. In der Abbildung 6.3 befindet sich auf der linken Seite die Symbolpalette, aus der ein neuer Arbeitsschritt oder ein Verknüpfungselement in Form eines Verbindungspfeils gewählt werden kann. Innerhalb des Workflow-Editors in der Mitte kann der Arbeitsschritt dann angeordnet und verknüpft werden. Auf der rechten Seite ist es möglich, die Attribute eines jeden Arbeitsschrittes mit Hilfe des Eigenschaftseditors hinzu zu fügen bzw. anzupassen.

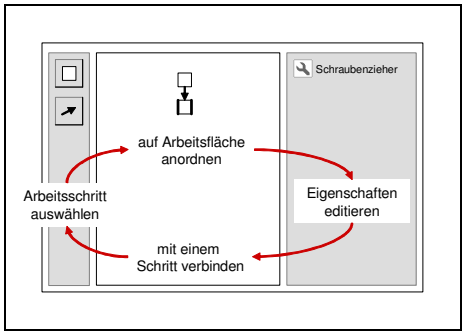


Abbildung 6.3: Adaption auf die Benutzeroberfläche [mir06]

6.2.3 Workflow-Editor

Der wichtigste Bestandteil der Autorenumgebung ist der Workflow-Editor. Er ermöglicht die Erstellung, Änderung und Anpassung der Arbeitsabläufe und des Dokumentenmodells. In der Umsetzung spiegeln sich die Hauptanforderungen aus Kapitel 3.2 an das Dokumentenmodell wieder. Unter anderem ist dies die Möglichkeit, die einzelnen Arbeitsschritte modular anordnen und miteinander verschalten zu können. Hinzu kommen typische Funktionalitäten eines Editors wie Zoomen, automatisches Anordnen der Schritte und Hilfestellung bei falschen Verknüpfungen.

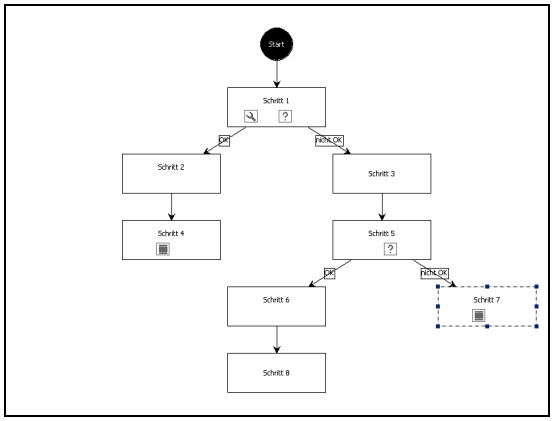


Abbildung 6.4: Workflow-Editor mit exemplarischem Arbeitsablauf

6.3 Implementierte Umfänge

Im Folgenden wird der Demonstrator der implementierten Autorenumgebung näher beschrieben. Die Implementierung der Autorenumgebung erfolgte teilweise im Rahmen einer parallel durchgeführten Diplomarbeit [mir06] und wurde mit Hilfe der Programmiersprache *Java*[50] und der Komponente *JGraph*[51] realisiert. Die Abbildung 6.5 zeigt einen Screenshot der implementierten Autorenumgebung. Auf die Bestandteile des Demonstrators wird in den nächsten Unterkapiteln näher eingegangen.

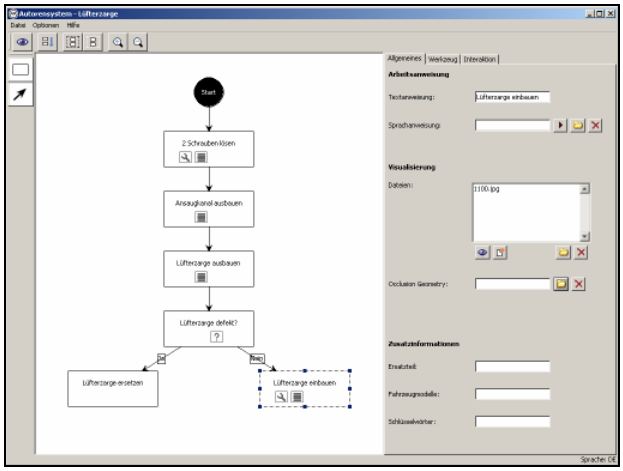


Abbildung 6.5: Implementierte Autorenumgebung

[50] http://java.sun.com/
[51] http://www.jgraph.com/

6.3.1 Eigenschaftseditor

Jeder Arbeitsschritt besitzt spezifische Attribute und Eigenschaften. Diese können über die drei Registerkarten des Eigenschaftseditors (vgl. Abbildung 6.6) dem jeweiligen Schritt zugewiesen und bearbeitet werden. Die derzeitige Implementierung der Autorenumgebung umfasst die Möglichkeiten einen Anweisungstext einzugeben und eine Sprachanweisung für die Audioausgabe auszuwählen. Je nach Ablaufsystem kann an dieser Stelle auch eine entsprechende Sprachsynthese eingebunden werden.

Des Weiteren kann jedem Arbeitsschritt eine Visualisierung zugewiesen werden, um die Informationsvermittlung zu unterstützen. Derzeit können Texte, Bilder, Videos, Animationen und Augmented Reality Anweisungen in Form von VRML-Dateien eingebunden werden. Neben der Verwendung fertiger VRML-Dateien ist es auch möglich durch die Angabe von Parametern eine Bewegung zu definieren. Eine detaillierte Beschreibung dieser Funktionalität findet sich in Kapitel 6.3.2.

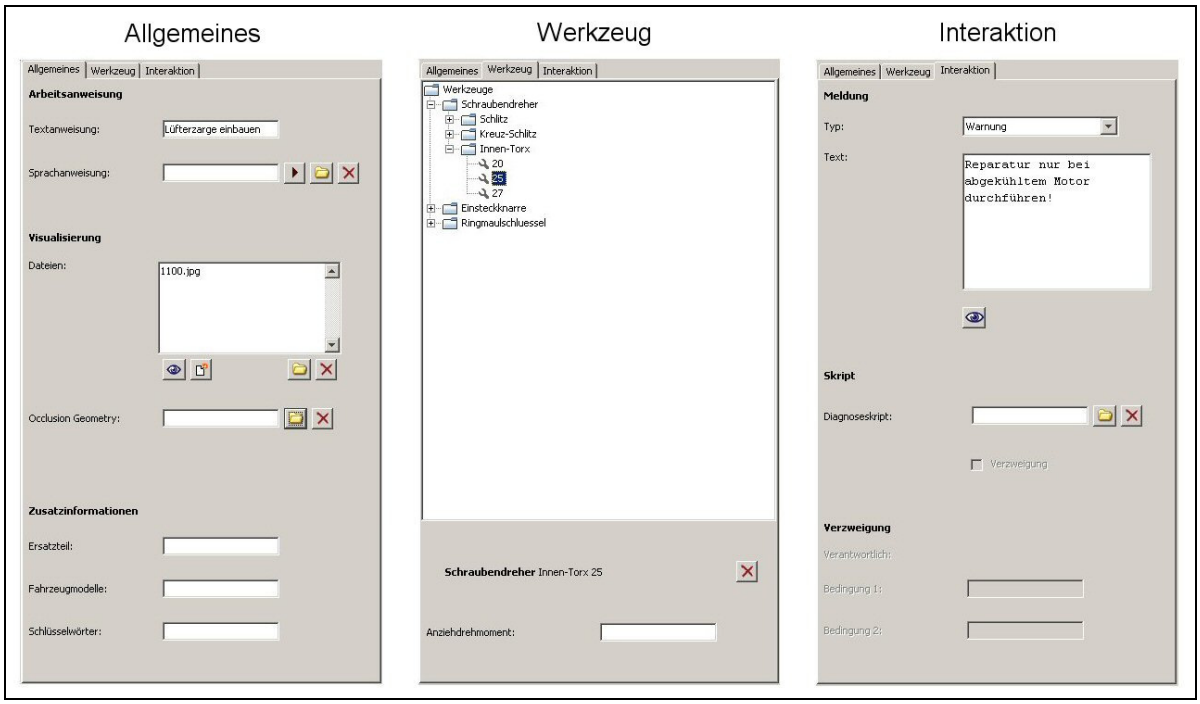


Abbildung 6.6: Die drei Registerkarten des Eigenschaftseditors

Die zweite Registerkarte beinhaltet die Werkzeugdatenbank, über die der Autor ein benötigtes Werkzeug auswählen kann (vgl. Kapitel 6.3.3). In der dritten Registerkarte können weitere Informationen zum Arbeitsschritt zugewiesen werden, welche eine Interaktion mit dem Nutzer erfordern. Dazu zählen primär die Verzweigungen im Arbeitsablauf, welche auf eine Rückmeldung warten, um zu entscheiden, mit welchen Arbeitsschritt fortzufahren ist. Die Rückmeldungen können sowohl vom Nutzer als auch vom Produkt (in diesem Fall vom Fahrzeug) kommen. Dazu muss eine Anfrage über die Diagnoseschnittstelle an das Fahrzeug gesendet werden. Eine Beschreibung dieser Schnittstelle befindet sich in Kapitel 6.3.4.

Abbildung 6.7: Automatisiert erstellter Warnhinweis

Die Abbildung 6.7 zeigt einen Warnhinweis, welcher von der Autorenumgebung automatisiert erstellt wurde. Dazu muss der Redakteur lediglich den Typ des Hinweises festlegen und einen Text eingeben, welcher dem späteren Anwender vor der Ausführung des Arbeitsschrittes angezeigt werden soll. Die momentane Version der Autorenumgebung beinhaltet die Möglichkeit einen Warnhinweis, eine Information oder eine Abfrage einzublenden. In der Visualisierung unterscheiden sich die verschiedenen Arten durch das angezeigte Auszeichnungssymbol.

6.3.2 Erstellung und Verwendung der Templates

Die wichtigste Eigenschaft eines Arbeitsschrittes für eine neuartige technische Dokumentation stellt die Visualisierung dar. Neben reinen Textanweisungen und Bildern können auch Animationen zum Einsatz kommen (vgl. Definition (4)). Wie in Kapitel 5.1 beschrieben, soll dabei die Animationserstellung durch die Verwendung von Templates unterstützt werden. Ein Template beschreibt eine Bewegung anhand von Parametern. Für eine lineare Bewegung sind dabei lediglich zwei Informationen von Bedeutung. Zum einen ist dies die Anfangsposition einer Bewegung und zum anderen die entsprechende Endposition (vgl. Kapitel 5.2.3). Da die Anfangsposition durch den Einbauort eines Bauteils vorgegeben ist, kann ein Demontagevorgang durch Zuweisung einer Endposition eindeutig definiert werden.

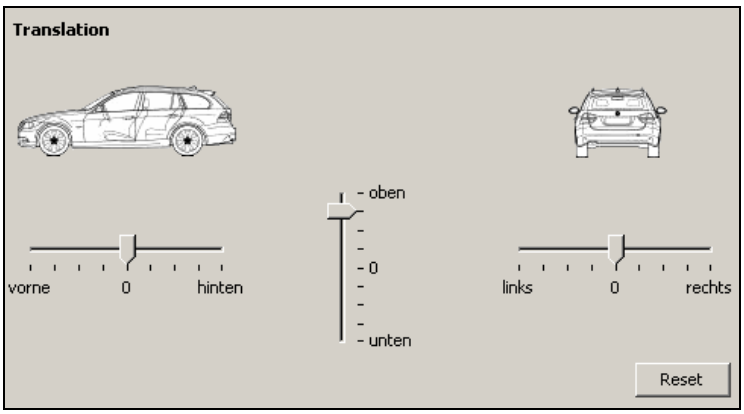


Abbildung 6.8: Editor für die Parameter eines Templates

Die Abbildung 6.8 zeigt einen Editor mit Hilfe dessen der Redakteur die Endposition mit drei Schiebereglern festlegen kann. Die Schieberegler definieren die relative Bewegung eines Bauteils entlang der drei Raumachsen. Exemplarisch wird hier der Ausbau der Lüfterzarge (vgl. Anhang A) beschrieben. Die Abbildung 6.9 zeigt die Position, in der die Lüfterzarge in einem Fahrzeug verbaut ist. Dies ist der Ausgangspunkt der Animation. Die Lüfterzarge wird durch Herausziehen nach oben ausgebaut. Diese Bewegung kann vom Redakteur durch den mittleren Schieberegler eingestellt werden (vgl. Abbildung 6.8).

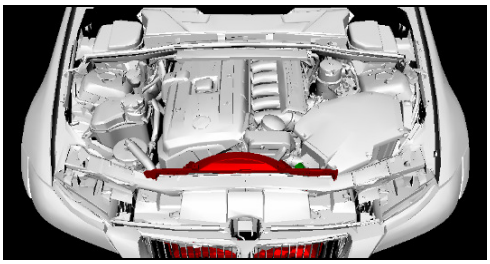


Abbildung 6.9: Ausgangspunkt der Animation

Dadurch ergibt sich eine Bewegung der Lüfterzarge nach oben (vgl. Abbildung 6.10) bis die Endposition erreicht ist (vgl. Abbildung 6.11). Die Ablage dieser Bewegung als Template in der Bibliothek wurde bereits in Kapitel 5.2 (vgl. Abbildung 5.6) beschrieben.

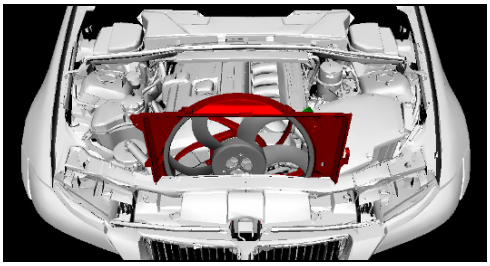


Abbildung 6.10: Bewegung der Lüfterzarge nach oben

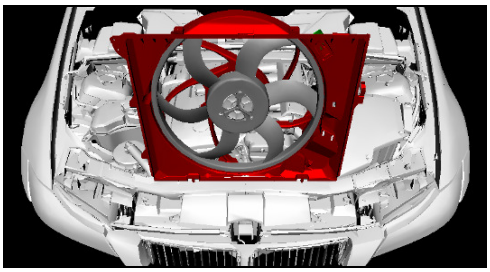


Abbildung 6.11: Endpunkt der Animation

Die Parameter für ein Template werden in der derzeitigen Version des Autorensystems in einer XML-Datei abgelegt. Durch Kombination dieser Parameter, des zu animierenden Bauteils und dem Grundgerüst der VRML-Datei entsteht die endgültige Animation, welche vom Ablaufsystem angezeigt werden kann.

Für Rotationen besteht bis dato nur eine rudimentäre Eingabemöglichkeit. Diese erlaubt es, Bauteile um die drei Koordinatenachsen des Fahrzeuges rotieren zu lassen. Für die Animation komplexer Bewegungsabläufe steht die Entwicklung einer entsprechenden Benutzerschnittstelle noch aus. Jedoch besteht heute schon die Möglichkeit, zusammengesetzte Rotationen als Template in die Dokumentation einzubinden.

6.3.3 Werkzeugdatenbank

Für alle Eigenschaften und Attribute eines Arbeitsschritts kann eine kleine Datenbank angelegt werden, welche es dem Redakteur erleichtert die gewünschte Eigenschaft auszuwählen. Darüber hinaus können diese Daten auch über die Metadaten (vgl. Kapitel 4.2) eines Bauteils vorgeschlagen werden.

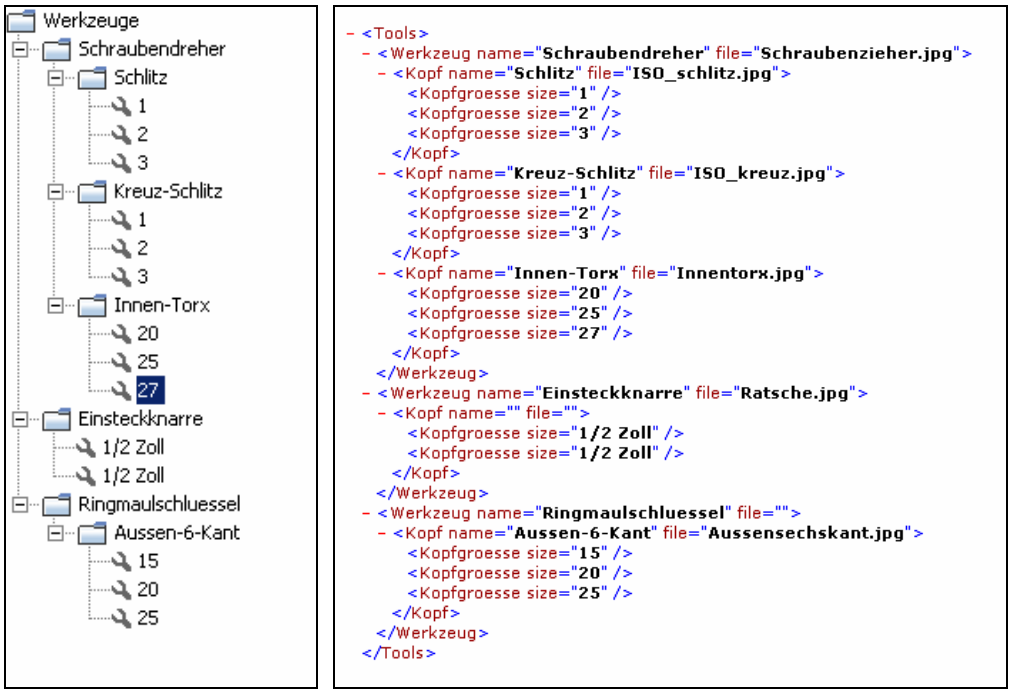


Abbildung 6.12: Werkzeugdatenbank und Repräsentation in XML

In die implementierte Autorenumgebung wurde eine Werkzeugdatenbank integriert. Die Abbildung 6.12 zeigt einen Auszug aus dieser Datenbank und die Repräsentation der Daten in XML. Somit ist es möglich über die hierarchische Anordnung im Eigenschaftseditor das passende Werkzeug auszuwählen. Die Datenbank selbst ist für den vorliegenden Demonstrator in Form einer XML-Datei umgesetzt worden. Somit kann die Datenbank einfach erweitert und gewartet werden.

6.3.4 Einbindung der Diagnose

Ein Merkmal des Erstellungsprozesses neuartiger technischer Dokumentationen ist die direkte Anbindung an die Diagnose. In Kapitel 5.1 wurde bereits auf die Aufgabe der Diagnose als Erstellungsindikator eingegangen. Um Informationen vom Fahrzeug auslesen zu können, existiert die so genannte *EDIABAS*-Schnittstelle. Die Komponente *EDIABAS* läuft unabhängig von der Autorenumgebung und stellt dieser alle für die Fahrzeugdiagnose abzuwickelnden Dienste zur Verfügung. *EDIABAS* ermöglicht den Zugriff z.B. auf den Fehlerspeicher eines Steuergerätes im Fahrzeug. Um diese Kommunikation zu steuern, werden Skripte eingesetzt. Jedes dieser Skripte besitzt eine spezifische Funktion und liefert ein entsprechendes Resultat zurück.

Ausgehend vom Fehlercode, der im Fehlerspeicher des Fahrzeuges hinterlegt ist, kann der Erstellungsprozess ein zugehöriges Dokument identifizieren. Dem technischen Redakteur wird somit die Aufgabe zuteil, jedem möglichen Fehlercode ein entsprechendes Dokument im Dokumentenmodell zuzuordnen. Dies bedeutet, dass jedem Arbeitsschritt, der ein Ende eines Dokuments bildet, ein Fehlercode zugeordnet werden kann.

6.3.5 Schnittstellen

Die umgesetzte Autorenumgebung wurde in Verbindung mit dem Ablaufsystem aus den Projekten ARVIKA und ARTESAS getestet. Dadurch ergeben sich Anforderungen an die Schnittstellen und die Art der einzulesenden sowie der weiterzugebenden Daten. Die Schnittstelle zu den Eingangsdaten bildet die Datenbereitstellung (vgl. Kapitel 4.4, Abbildung 6.1).

Die Anzeige einer AR-basierten Reparaturanleitung erfolgt durch ein von BMW entwickeltes Ablaufsystem, das auf den ARVIKA-Ergebnissen aufbaut. Dieses Ablaufsystem kann verschiedene Anleitungen im XML-Format einlesen und für den Mechaniker in einem HMD anzeigen. Eine detaillierte Spezifikation der XML-Schnittstelle des Systems aus ARVIKA findet sich in der Arbeit von [mir06].

```
- <Workflow>
    <Anleitung Grund="" Dauer="0" />
  - <Task ID="ID000000" InWorkflowList="false" ARTask="false">
    - <Position>
        <XKoordinate>264</XKoordinate>
        <YKoordinate>40</YKoordinate>
      </Position>
      <Ersatzteil />
      <Betroffene_Modelle />
      <Schluesselwoerter />
    - <ToDo Language="DE">
        <Text>Start</Text>
        <Sound>null</Sound>
      </ToDo>
      <NextStep>ID000001</NextStep>
    </Task>
  - <Task ID="ID000001" InWorkflowList="true" ARTask="true">
    - <Position>
        <XKoordinate>214</XKoordinate>
        <YKoordinate>130</YKoordinate>
      </Position>
      <Ersatzteil>Lüfterzarge (7 114 235)</Ersatzteil>
      <Betroffene_Modelle>E90</Betroffene_Modelle>
      <Schluesselwoerter />
    - <ToDo Language="DE">
        <Text>Lüfterzarge ersetzen</Text>
        <Sound>null</Sound>
      </ToDo>
    - <Tool SpecialTool="false">
        <ToolName>Images_allg/Schluessel/Einsteckknarre.jpg</ToolName>
        <HeadSize>1/2 Zoll</HeadSize>
      </Tool>
    - <ARTask>
      - <Geometry>
          <VRML>Lüfterzarge_ausbauen.wrl</VRML>
        </Geometry>
      </ARTask>
      <NextStep>ID000002</NextStep>
    </Task>
  </Workflow>
```

Abbildung 6.13: Auszug aus einer Reparaturanleitung im XML-Format nach [mir06]

Die Grundlage für die in Abbildung 6.13 dargestellte Reparaturanleitung im XML-Format ist die in Kapitel 3.1.6 eingeführte formale Sprache und Grammatik für neuartige technische Dokumentationen. Unter Berücksichtigung der Anforderungen aus ARVIKA konnte mit Hilfe dieser Grammatik eine Schnittstelle zwischen dem Autoren- und dem Ablaufsystem via XML geschaffen werden.

6.4 Datenbasis für den Prototypen

Der zukünftige Erstellungsprozess baut einerseits auf dem Inhalt einer Datenbasis auf, andererseits werden neu erzeugte Daten dort abgelegt und zur Verfügung gestellt. Idealerweise ist diese Datenbasis die Produktstruktur (vgl. Kapitel 4). Da aber auch Daten benötigt werden, die nicht durch den Erstellungsprozess selbst erzeugt werden, muss die Befüllung durch einen weiteren Prozess durchgeführt werden. Diese so genannte Datenbereitstellung (vgl. Kapitel 4.4) sammelt die erforderlichen Daten und legt diese, gemäß den Anforderungen des Erstellungsprozesses, wieder in der Datenbasis ab.

Um die implementierten Umfänge im Rahmen der vorliegenden Arbeit hinreichend testen zu können, wurde die Befüllung manuell durchgeführt. Die Definition und die Entwicklung eines

entsprechenden automatisierten Prozesses stellt aus technischer Sicht keine Herausforderung dar, bedarf aber eines hohen Abstimmungsaufwandes mit den Ressorts und Abteilungen innerhalb des Unternehmens, welche die benötigten Daten erzeugen. Mit diesen Abteilungen müssen dann entsprechende Leistungsvereinbarungen geschlossen werden.

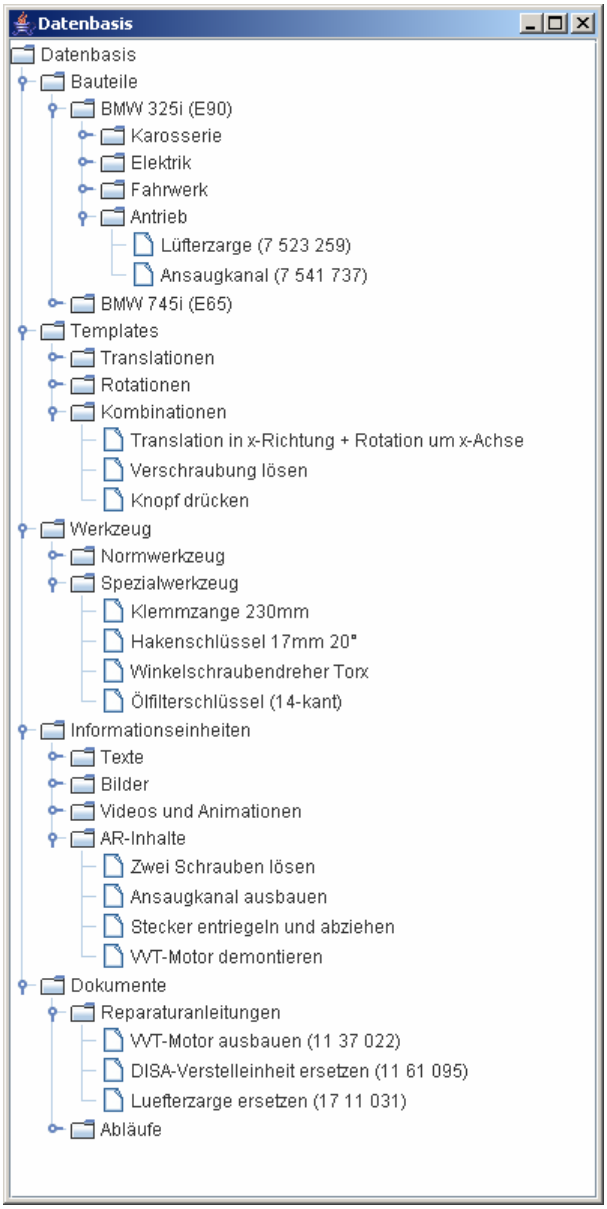


Abbildung 6.14: Auszug aus der Datenbasis

Für die hier beschriebene Validierung kommt ein Dateisystem als Datenbasis zum Einsatz (vgl. Abbildung 6.14). Die Struktur der Datenbasis ist somit völlig frei, weil das Autorensystem in der Lage ist, jegliche Daten, welche über den Dateibrowser auffindbar sind, zu laden. Für die Tests wurde eine Auswahl an Abbildungen, Videos, Sounds und Animationsfilmen bereitgestellt. Für die geometrische Repräsentation der Bauteile eines Produkts wird in der Validierung auf das Datenformat VRML97 zurückgegriffen. Dieses Format findet Anwendung in den Systemen aus ARVIKA [arv03] und ARTESAS [art06]. Somit können die erstellten Anleitungen direkt im vorhandenen Ablaufsystem angezeigt werden. Darüber hinaus beinhaltet die Datenbasis eine kleine Werkzeugdatenbank (vgl. Abbildung 6.12) und einige Templates, welche die Grundlage für die Erstellung der Anima-

tionen bilden. Mit dem Autorensystem können sowohl bestehende Texte, Bilder, Videos und Animationen als auch fertige AR-Inhalte in einen Arbeitsschritt eingebunden werden. Darüber hinaus können auch Abläufe sowie Dokumente übernommen, erweitert oder als Vorlage für ein neues Dokument verwendet werden.

Der erste Teil der Datenbereitstellung, der heute schon produktiv existiert und durch die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit mitgestaltet wurde, ist eine Datenbank, welche die vorverarbeiteten Geometriedaten eines Fahrzeuges enthält. Diese Datenbank wird durch einen automatischen Prozess befüllt (vgl. Kapitel 4.4.2). Für eine Bewertung des Demonstrators muss dieser Prozess jedoch um die in Kapitel 4.4 beschriebenen Teilaufgaben erweitert werden.

6.5 Tests & Bewertung

6.5.1 Testszenarien

Um die erstellten Konzepte und den daraus entstandenen Demonstrator zu testen, wurden verschiedene Testszenarien ausgewählt. Dabei soll aus verschiedenen Bereichen der technischen Dokumentation je eines stellvertretenden für die Validierung des Konzeptes dienen. Ausgewählt wurden eine Reparaturanleitung sowie eine Kombination aus Diagnose und Instandsetzung.

Ersetzen des Stellmotors der differenzierten Sauganlage (DISA)
Bei der differenzierten Sauganlage (DISA) befindet sich zwischen den Saugrohren des Motors eine Verbindungsklappe. Sie ist im unteren Drehzahlbereich geschlossen und sorgt so über einen langen Ansaugweg für ein hohes Drehmoment. Bei höheren Drehzahlen ist die Klappe geöffnet und sorgt somit für einen kurzen Ansaugweg und damit für mehr Leistung [bmw05]. Die Verstellung dieser Klappe wird von einem Stellmotor bewerkstelligt, der bei einem etwaigen Defekt ersetzt werden muss. Eine Beschreibung der Arbeitsschritte findet sich im Anhang A.

Diese Anleitung wurde ausgewählt, weil ein hohes Potenzial für die Wiederverwendung von einzelnen Arbeitsschritten besteht. Im Verlauf der Demontage müssen 24 Stecker des Motorkabelbaums entriegelt und abgezogen werden. Dies bietet die Möglichkeit, das Konzept der Templates und die automatisierte Erstellung von Arbeitsschritten zu testen.

Ersetzen und Initialisieren des Lenkwinkelsensors
Bei der so genannten Aktivlenkung bewirkt ein in die Lenksäule integriertes Planetengetriebe, dass der vom Fahrer per Lenkrad vorgegebene Lenkwinkel je nach Fahrsituation variiert wird. Bei niedrigen und mittleren Geschwindigkeiten wird der Lenkwinkel der Vorderräder dabei vergrößert. Bei hohen Geschwindigkeiten hingegen (insbesondere bei Autobahnfahrten) verringert sich die Wirkung [bmw05]. Der Ausfall der Aktivlenkung wird dem Fahrer visuell und akustisch angezeigt. Ein Aufenthalt in der Werkstatt zur Instandsetzung ist notwendig.

Bei diesem Szenario wurde die Kombination von geführter Fehlersuche, Instandsetzung und Initialisierung umgesetzt. Zunächst muss der Fehler lokalisiert werden, anschließend wird das fehlerhafte Bauteil ersetzt und zum Schluss muss der neue Sensor initialisiert werden. Eine kurze Beschreibung befindet sich ebenfalls in Anhang A. Dieses Szenario ist unter anderem geeignet um die in das Autorensystem integrierte Schnittstelle zur Diagnose zu testen.

6.5.2 Bewertung mit Expertennutzern

Die Bewertung des Demonstrators wurde in zwei Teilen durchgeführt. Zum einen wurde eine ausgewählte Gruppe von Ingenieuren bzw. Informatikern gebeten mit Hilfe des Demonstrators die oben vorgestellten Reparaturen umzusetzen. Zum anderen wurden der Demonstrator und dessen zugrunde liegenden Konzepte technischen Redakteuren präsentiert und zur Diskussion gestellt.

Die Mitglieder der ersten Gruppe waren allesamt aus dem Arbeitsgebiet "Augmented Reality" und kannten die umzusetzenden Szenarien bereits, da diese schon vorher als AR-basierte Anleitungen existierten. Die Aufgabe dieser Gruppe war die Überprüfung sowie die Sicherstellung der technisch korrekten Umsetzung der Konzepte und der Anwendbarkeit der erstellten Anleitungen im dafür vorgesehenen Ablaufsystem der BMW Group. Besonders die Arbeitserleichterung durch die Wiederverwendbarkeit und die einfache Adaption von vorhandenen Arbeitsschritten wurde bei der Modellierung der Anleitung für das Lösen und Befestigen der 24 Stecker im DISA-Szenario (vgl. Kapitel 6.5.1) sichtbar. Aber auch die einfache graphische Anordnung der Schritte und der modulare Aufbau der Dokumente wurden als die wesentlichen Verbesserungen hervorgehoben. Im Rahmen dieser Überprüfung wurden kleinere Mängel aufgedeckt, deren Beseitigung direkt in den Demonstrator einfließen konnte. Somit wurde ein Stand erreicht, welcher auch der eigentlichen Zielgruppe, den technischen Redakteuren, präsentiert werden konnte.

Die Aufgabe der technischen Redaktion bestand darin, ein erstes Feedback zu liefern, um schon in der frühen Phase der Umgestaltung und Erweiterung ihres Arbeitsfeldes mitwirken zu können. Im Rahmen einer Präsentation der Konzepte für den Erstellungsprozess neuartiger technischer Dokumentationen wurde auch der aktuelle Zwischenstand des Demonstrators vorgestellt. Zusammenfassend wurden an dieser Stelle, die in dieser Arbeit entwickelten Konzepte bestätigt. Insbesondere das Dokumentenmodell sowie die damit verbundene Möglichkeit, die modularisierten Arbeitschritte instanzunabhängig wieder zu verwenden, wurden als der richtige Ansatz für die Gestaltung des zukünftigen Erstellungsprozesses erachtet. Somit muss das Dokumentenmodell (wie in Kapitel 3.2) in der nächsten Version des Demonstrators umgesetzt werden, bevor eine Usability Studie durchgeführt werden kann, welche unter anderem Aufschluss über weitere potentielle Verbesserungen des Ansatzes geben kann.

6.6 Übertragbarkeit auf weitere Bereiche

Nicht nur in der Automobilindustrie hat der Kunde die Möglichkeit, sein Produkt individuell zu gestalten, sondern auch in anderen Bereichen wird eine Anpassung an die Kundenwünsche ermöglicht. Stellvertretend soll an dieser Stelle die Möbelbranche, insbesondere der Küchensektor, genannt und anhand eines Beispiels vorgestellt werden. Dabei wird eine Querverbindung zu den in dieser Arbeit vorgestellten Konzepten hergestellt und somit die Ansätze auf theoretischer Ebene validiert.

Jeder Kunde hat seine eigenen Bedürfnisse und Wünsche, die in die Planung seiner Küche einfließen sollen. Dazu kommen die baulichen Gegebenheiten, worunter hauptsächlich der Grundriss, die Anschlüsse für Wasser und Elektrizität sowie Fenster und Türen fallen. All diese Rahmenbedingungen führen dazu, dass keine Küche der anderen gleicht. Insbesondere bei Küchenherstellern, deren Kunden die Küche in Eigenregie aufbauen wollen, führt dies zu einem erhöhten Bedarf an adäquater Dokumentation.

Da die Planung der Küche mit einer entsprechenden Software [ike05] durchgeführt werden kann, stehen dem Computersystem alle notwendigen Daten für die Erstellung einer maßge-

schneiderten Aufbauanleitung zur Verfügung. Während der Planung einer individuellen Küche wird durch das Programm einerseits eine Stückliste erzeugt, welche unter anderem als Einkaufsliste dient, anderseits entsteht durch die Anordnung der Elemente ein dreidimensionales Modell der Küche (vgl. Abbildung 6.15).

Abbildung 6.15: Exemplarische Anordnung der Küchenelemente

Dieses Modell liefert für die Erstellung der Aufbauanleitung wichtige Informationen, welche bspw. die Reihenfolge, in der die Elemente aufgebaut werden sollen, festlegt. Zusätzlich müssen im Erstellungssystem zuvor Regeln definiert worden sein, durch deren Anwendung eine vernünftige Sequenz für den Aufbau entsteht. Eine Regel definiert z.B. den Eckschrank als den Startpunkt des Aufbaus.

Mit Hilfe dieses Vorgehens kann sukzessive eine individuelle Anleitung erstellt werden, welche den Kunden beim Aufbau der Küche unterstützt und das eigenständige Kombinieren der einzelnen Anleitungen jedes einzelnen Küchenelements überflüssig macht. Das Ergebnis kann einerseits eine individuelle Textanleitung sein, oder aber auch eine neuartige technische Dokumentation. Die Vorteile der Verwendung von Augmented Reality (AR) liegen auf der Hand. So entfällt z.B. das Ausmessen und Anzeichnen der Ausschnitte für Spülbecken und Kochfeld auf der Arbeitsplatte. Mit AR werden diese Markierungen virtuell dargestellt und leiten den Anwender durch den Aufbau. Dies spart Zeit und hilft Fehler zu vermeiden. Doch insbesondere die Technologie AR kann den Aufbau einer Küche nur dann unterstützen, wenn es eine Anleitung gibt, welche die Forderung nach der hundertprozentigen Genauigkeit erfüllt.

Ein anderer Bereich, in welchem Ansätze aus der vorliegenden Arbeit verwendet werden können, ist das Produktmarketing. Hier können die vorgestellten Templates als Vorlage für virtuelle Werbespots dienen. Das Template enthält dabei alle relevanten Informationen wie z.B. Kameraführung, Beleuchtung und Umgebung. Nachdem ein Werbespot für ein bestimmtes Fahrzeug gedreht wurde, können auf einfache Art und Weise weitere Produkte (z.B. Fahrzeuge mit Sonderausstattung oder anderen Außenfarben) in den Spot eingebunden werden.

6.7 Zusammenfassung & offene Punkte

Zur Validierung der Konzepte aus den vorigen Kapiteln wurden Teilumfänge in einem Demonstrator umgesetzt. Das Hauptaugenmerk wurde dabei auf die Bewertung des graphischen Ansatzes für die Erstellung der Arbeitsabläufe innerhalb der technischen Dokumentation gelegt. Mit Hilfe eines ersten Anwendertests konnte diesem Ansatz ein hohes Potenzial im Bereich intuitive Erstellung und Pflege der Dokumente bescheinigt werden. Eine umfassende Studie, welche eine große Anzahl von Anwendern (nicht nur aus dem Umfeld "Reparaturanleitung") einbezieht, wurde bisher nicht durchgeführt, da der Demonstrator noch nicht allgemeingültig genug ausgelegt werden konnte. Folgende Punkte sollten für eine fundierte Überprüfung des gesamthaften Erstellungsprozesses neuartiger technischer Dokumentationen berücksichtigt werden.

Der implementierte Demonstrator wurde auf die derzeitigen Bedürfnisse und Rahmenbedingungen der BMW Group im Bereich Service zugeschnitten, weshalb eine vollständige Integration eines Dokumentenmodells, wie in Kapitel 3.2 vorgeschlagen wurde, noch aussteht. Derzeit wird nur die Ablage eines einzelnen Dokuments und dessen Verwendung als Vorlage für neue Dokumente unterstützt. Die propagierte Modularisierung der Informationseinheiten und deren Verknüpfung zu einem Dokumentenmodell müssen in der nächsten Version stärker berücksichtigt werden. Dafür ist es aber auch notwendig, dass das Ablaufsystem die Anpassung eines Dokuments durch Auswertung von Diagnose- und Instanzinformationen durchführen kann (vgl. Kapitel 5.1).

Das Konzept der "Templates" wurde in Kapitel 5.2 ausführlich beschrieben. Im Rahmen der Umsetzung konnte für die Erstellung und Anpassung linearer Bewegungen mit Hilfe von Schiebereglern eine einfache graphische Schnittstelle zur Verfügung gestellt werden. Für Rotationsbewegungen ist das Design einer solchen Schnittstelle ungleich schwerer. Insbesondere die Definition der Rotationsachse im Raum bereitet dabei Schwierigkeiten. Das in Kapitel 6.3.2 vorgestellte Konzept wurde deshalb auf Rotationen um die Achsen des Fahrzeugkoordinatensystems beschränkt. Für zukünftige Versionen der Autorenumgebung muss hier eine Möglichkeit gefunden werden, auch komplexere Animationspfade und Rotationen einzugeben. Ein möglicher Weg könnte hier die Verwendung einer so genannten "Space Mouse[52]" sein.

Die Datenbereitstellung wurde für die Validierung im Rahmen dieser Arbeit aus den in Kapitel 6.4 genannten Gründen manuell durchgeführt. Im Rahmen einer Studie sollte auch dieser Teil des Erstellungsprozesses bewertet werden können, so dass eine Anpassung der heute vorhandenen Prozesse und Systeme vorgenommen werden muss.

Den Abschluss dieses Kapitels bildete eine Übertragung der entwickelten Konzepte und Methoden auf einen weiteren Einsatzbereich. Neben der Automobilindustrie ist auch der Küchensektor der Möbelbranche ein Bereich, in dem die Produkte sehr stark individualisiert werden können. Auch hier bietet sich die Möglichkeit an, passende und ganzheitliche Anleitungen bspw. für den Aufbau der Küche mittels des Erstellungsprozesses neuartiger technischer Dokumentationen zur Verfügung zu stellen. Damit wurde gezeigt, dass die Ergebnisse dieser Arbeit weitestgehend unabhängig von der charakteristischen Ausprägung des Produkts sind.

[52] Die "Space Mouse" ist ein Gerät zur dreidimensionalen Bewegungssteuerung von Objekten in gleichzeitig bis zu sechs Freiheitsgraden (Zoomen, Schieben und Drehen in alle Richtungen) [bli99].

7 ERKENNTNISSE & PERSPEKTIVEN

Das Ziel dieser Arbeit ist die umfassende Definition eines ganzheitlichen Erstellungsprozesses für neuartige technische Dokumentationen. Dieser Prozess wird notwendig, wenn die Einführung von technischen Dokumentationen in einem Unternehmen angedacht wird, welche neue Medien wie bspw. "Augmented Reality (AR)" zur Visualisierung der Informationen einsetzen. Besonderes Augenmerk wird in dieser Arbeit auf die Vollständigkeit des Erstellungsprozesses gelegt, wodurch alle Stationen der Erstellung berücksichtigt werden.

7.1 Zusammenfassung

Zunächst wurde in die Grundlagen der "Technischen Dokumentation" eingeführt. Dabei wurde deutlich, dass eine Vielzahl an Informationen in unterschiedlichen Ausprägungen der technischen Dokumentation benötigt wird, jedoch für jeden Anwendungsfall erneut erstellt werden muss. Dies führte dazu, in der vorliegenden Arbeit einen Ansatz zu verfolgen, dem die Trennung des technischen Inhalts von dessen Visualisierungsform zugrunde liegt.

Des Weiteren wurden die charakteristischen Eigenschaften verschiedener Darstellungsformen miteinander verglichen. Unter besonderer Betrachtung stand dabei die Technologie "Augmented Reality (AR)" und deren Einfluss auf den Erstellungsprozess für technische Dokumentationen. Es konnte festgestellt werden, dass gerade durch AR erhöhte Anforderungen auf den Erstellungsprozess zukommen. Die gewichtigste Anforderung stellte dabei die Notwendigkeit einer 100%-igen Genauigkeit der Dokumentation im Bezug auf die Realität dar. In einem Anforderungsprofil wurden diese und weitere Anforderungen zusammengefasst, welche durch die zu entwickelnden Konzepte berücksichtigt wurden. Sowohl der heutige Erstellungsprozess sowie derzeit am Markt erhältliche Autorensysteme konnten die Anforderungen neuartiger technischer Dokumentationen nicht erfüllen.

Mit dem Ziel der Modularisierung wurde zunächst die Struktur technischer Dokumente untersucht und neu definiert. Dadurch konnten die einzelnen Bestandteile extrahiert werden, welche durch den Erstellungsprozess nach dem Baukastenprinzip wieder zusammengesetzt werden können. Die einzelnen Bausteine, deren Verknüpfung sowie deren weiteren Eigenschaften wurden in einem abstrakten und allgemeingültigen Dokumentenmodell abgelegt, welches das Urmuster für jedes technische Dokument enthält. Dieses Dokumentenmodell bildet nun die Basis für den zukünftigen Erstellungsprozess [sto06].

Um den Erstellungsprozess optimal unterstützen zu können, müssen möglichst viele Informationen und Produktdaten zur Verfügung stehen. In der Produktentwicklung ist die gemeinsame Datenbasis das Produktmodell, welches Informationen aus allen Lebenszyklen enthält und für eine Vielzahl von Prozessen zur Verfügung steht. Aus diesem Grund lag es nahe, das Produktmodell auch gemäß den Anforderungen des Erstellungsprozesses neuartiger technischer Dokumentationen zu ergänzen. Neben zwei neuen Sichten wurde das Metadatenkonzept und eine darauf basierende Methodik zur Erstellung von technischen Dokumenten vorgestellt [sto03], [sto05a]. Um diese Ergänzungen des Produktmodells mit den Metadaten nicht manuell durchführen zu müssen, wurde einerseits eine automatisierbare Klassifizierung erarbeitet sowie andererseits der Prozess der Datenbereitstellung definiert. Die Datenbereitstellung übernimmt autark die arbeitsvorbereitenden Tätigkeiten für den Erstellungsprozess.

Aufbauend auf der neu entwickelten Struktur der technischen Dokumente und den zusätzlichen Daten im Produktmodell konnte ein Erstellungsprozess für neuartige technische Dokumentationen definiert werden. Dieser Erstellungsprozess wurde in zwei Abschnitte untergliedert. Zum einen müssen die Arbeitsabläufe aus dem Dokumentenmodell mit Hilfe von Diagnose- und Instanzinformationen extrahiert werden, zum anderen müssen die Abläufe abhängig von der gewählten Darstellungsform visualisiert werden. Um auch die Visualisierung parametrisieren zu können, wurde darüber hinaus das Konzept der Templates erarbeitet. Ein Template bildet die Vorlage für eine Animation, die auf unterschiedliche Bauteile angewendet werden kann. Dadurch kann die Erstellung der Bewegung ebenfalls automatisiert werden [kno05].

Im Rahmen des Projektes, welches sich innerhalb der BMW Group mit AR-basierten Reparaturanleitungen beschäftigt, wurden ausgewählte Teile des konzipierten Erstellungsprozesses in einem Demonstrator umgesetzt. Wesentlicher Bestandteil des Demonstrators ist ein Workflow-Editor zur Bearbeitung der Arbeitsabläufe. Somit diente dieser Demonstrator als Grundlage für eine erste Bewertung der Ansätze des Dokumentenmodells sowie des Metadaten- und des Template-Konzepts. Das einhellige Feedback sowohl der Ingenieure als auch der technischen Redakteure bestätigte die entwickelten Konzepte. Für weitere Untersuchungen müssen jedoch alle Bestandteile implementiert werden, um den umgesetzten Erstellungsprozess einerseits durch weitere Darstellungsformen und andererseits durch weitere Dokumentarten (nicht nur Reparaturanleitung) zu verallgemeinern.

7.2 Resultate

In der vorliegenden Arbeit konnten durch die Entwicklung des Erstellungsprozesses für neuartige technische Dokumentationen folgende Resultate erzielt werden:

Struktur technischer Dokumentationen

- *Modulare Struktur und Baukastensystem*
  Die Struktur heutiger technischer Dokumentationen wurde unter Berücksichtigung der Anforderungen neuartiger technischer Dokumentationen grundlegend überarbeitet. Es entstand eine modulare Struktur, wodurch sich die Dokumente nun aus einzelnen Bausteinen zusammensetzen lassen.

- *Instanziierbare Dokumente*
  Die entwickelte Struktur der Dokumente erlaubt es, die Dokumentation eines Produkts genauso zu instanziieren wie das Produkt selbst. Dabei werden die spezifischen Merkmale (z.B. Sonderausstattungen) vollständig berücksichtigt.

- *Genauigkeit der Dokumentation von 100%*
  Aufgrund der instanziierbaren Dokumente können dem Anwender Anleitungen zur Verfügung gestellt werden, die zu 100% zu dem Produkt passen, welches er vor sich hat.

Datenhaltung

- *Minimierter Speicherbedarf*
  Die modulare Struktur der Dokumente eliminiert unerwünschte Redundanzen, da einzelne Bausteine, welche in verschiedenen Dokumenten zum Einsatz kommen, nur einmalig in der Datenbasis abgelegt werden müssen.

- *Minimierter Aufwand bei der Datenpflege*
  Da die Bausteine, aus denen ein Dokument besteht, keine Redundanzen mehr aufweisen, ist auch kein Mehrfachaufwand bei der Änderung von Informationen innerhalb eines dieser Bausteine mehr notwendig.

Evaluation

- *Umsetzung eines Demonstrators*
  Die Konzepte und Methoden der vorliegenden Arbeit wurden teilweise in einer prototypischen Autorenumgebung umgesetzt und stehen für Testzwecke zur Verfügung.

- *Verifikation mit Expertennutzern*
  Mit Hilfe des Demonstrators konnten ausgewählte Expertennutzer das System und den neuen Erstellungsprozess testen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Nutzer ein hohes Potenzial im Ergebnis dieser Arbeit sehen und dass die Umsetzung des neuen Erstellungsprozesses weiter vorangetrieben werden soll.

Abschließend kann festgehalten werden, dass der in dieser Arbeit entwickelte Erstellungsprozess die Basis für den Einsatz neuartiger Technologien wie bspw. Augmented Reality in der technischen Dokumentation bildet. Vor allem deshalb weil der erhöhte Aufwand bei der Erstellung neuartiger technischer Dokumentationen durch den vorgestellten Erstellungsprozess abgefangen und somit minimiert werden kann.

7.3 Perspektiven

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Erstellung neuartiger technischer Dokumentation. Diesem Erstellungsprozess liegen die Rahmenbedingungen der heute gängigen technischen Möglichkeiten in der Fehlersuche, des Produktdatenmanagements und der Arbeitsabläufe in der technischen Redaktion zugrunde. Diese Gegebenheiten wurden bei der Definition des Erstellungsprozesses als fix betrachtet und demnach nicht verändert. Im Folgenden soll eine Auswahl von Ansatzpunkten und Fragestellungen beschrieben werden, mit Hilfe derer das Ergebnis des Erstellungsprozesses weiter optimiert werden kann.

Da die Reihenfolge der Arbeitsschritte innerhalb des Dokumentenmodells im Falle einer Reparaturanleitung teilweise von der Demontagereihenfolge abhängt, ist auch die Übernahme dieser Informationen nach dem Ansatz von [mel86] möglich. In dieser Arbeit wird eine Planungsstrategie für Roboter entwickelt, welche aus allen möglichen Montageabfolgen des Produkts die effizienteste heraussucht. Aufbauend auf diesem Ansatz könnte ein Algorithmus entwickelt werden, der aus dem CAD-Modell des Produkts eine mögliche Demontagereihenfolge (und somit die kausalen Abhängigkeiten) errechnet und als Grundlage für die Arbeit des technischen Redakteurs dient. Damit ließe sich ein weiterer Teil des Autorenprozesses automatisieren und gleichzeitig virtuell absichern.

In der Automobilbranche ist die Basis für die Auswahl des korrekten Instandsetzungsdokuments einerseits die Beschreibung des Defekts durch den Kunden und andererseits das Ergebnis der Onboard-Diagnose, durch die heutzutage nahezu ausschließlich elektronische Defekte aufgedeckt werden können. Mechanische Fehler, die z.B. durch einen Unfall verursacht wurden, können derzeit noch nicht erkannt und somit nicht als Parameter für den Erstellungsprozess verwendet werden. Darüber hinaus kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich ein Produkt (insbesondere ein Fahrzeug) im Laufe seines Produktlebenszyklus nicht

verändert bzw. dass jede Änderung durch das Produktdatenmanagement (PDM) erfasst wird. Ein Beispiel hierfür kann das Zukaufen von Zubehörteilen von Fremdfabrikaten sein. Dies führt dazu, dass die Identifikationsnummer nicht mehr den aktuellen Zustand des Produkts sondern nur den Zustand zum Zeitpunkt des Verkaufs beschreiben kann. Da aber der aktuelle Zustand des Produkts einen wichtigen Parameter für den Erstellungsprozess bildet, müssen Wege gefunden werden, die während des Produktlebenszyklus entstehende Diskrepanz zwischen Produkt und virtueller Repräsentation abzufangen. Ein Weg könnte die Erweiterung um eine kamerabasierte Diagnose sein, die mit Hilfe einer Bildverarbeitungssoftware den aktuellen Zustand des Produkts und somit mögliche Fehlerquellen erkennt.

Eine andere Variante könnte auf der Technologie "RFID (Radio Frequency Identification)" basieren. Ursprünglich wurde RFID entwickelt, um den Barcode (auch Strichcode genannt) abzulösen. Mittlerweile zeichnen sich aber auch andere Einsatzmöglichkeiten ab. So können auf diese kostengünstige Weise, Warenbestände und deren Veränderung automatisch erfasst werden [bro02]. Übertragen auf den Erstellungsprozess neuartiger technischer Dokumentationen müsste jedes Bauteil bzw. jede Baugruppe mit einem Speicherchip ausgestattet werden. Dieser ist mit einer Antenne verbunden und kann über Funk ausgelesen werden (innerhalb von Reichweiten von aktuell etwa 1-5m). Der Chip wird in der Regel als passiver Transponder ausgeführt, wodurch er flach, robust, wartungsfrei, langlebig sowie sehr klein ist und ohne eigene Stromversorgung funktioniert. Während der Diagnose der elektronischen Bauteile (z.B. Steuergeräte) könnten somit auch alle anderen Bauteile (z.B. Abdeckungen, Anbauteile, Batterien von Fremdfabrikaten) als mögliche Fehlerquelle identifiziert und die Erstellung der Dokumente entsprechend adaptiert werden.

Weitere Eingangsdaten, die dem Erstellungsprozess derzeit verwehrt bleiben, sind Erfahrungswerte der Anwender. Der hier entwickelte Erstellungsprozess basiert auf einem flexibel und dynamisch anpassbaren Konstrukt, dem Dokumentenmodell. Es enthält alle Informationen und Daten, welche der Anwender bei der Ausführung seiner Tätigkeit mit Hilfe einer Dokumentation benötigt. Allerdings werden all diese Informationen (gemäß der heute üblichen Praxis) von der technischen Redaktion erstellt und somit vorgegeben. Der Anwender, der möglicherweise einen Fehler in der Dokumentation oder bspw. eine umständliche Anweisung in einem Dokument entdeckt, kann diese Erfahrung nicht systemtechnisch unterstützt in den Erstellungsprozess einbringen. Hier bedarf eines Konzepts, welches es erlaubt, die Erstellung, Pflege und Erweiterung der Daten im Dokumentenmodell nicht allein in der technischen Redaktion zu zentralisieren, sondern es muss die Möglichkeit geschaffen werden, die Erfahrungswerte der Anwender einzubinden.

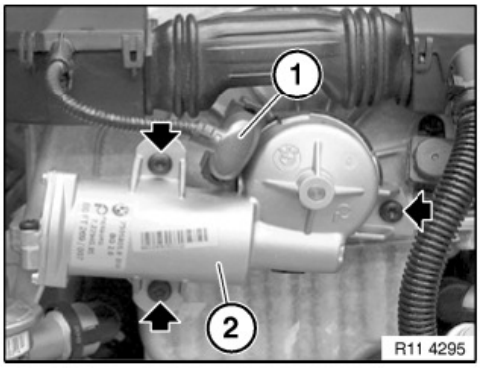
Weiteres Potenzial für die bessere Adaption eines Dokuments bietet sich insbesondere im Zusammenhang mit der Technologie "Augmented Reality (AR)" an. Da hier der Anwender für die Bilderkennung und -verarbeitung mindestens eine Kamera tragen muss, ist einerseits eine kamerabasierte Diagnose denkbar (siehe oben), andererseits besteht die Möglichkeit, die dargestellte Anleitung zur Laufzeit an die Bedürfnisse des Anwenders anzupassen. So lange der Anwender bspw. im Rahmen einer Reparatur zügig vorankommt, wird ihm nur ein Minimum an Informationen angezeigt. Dies entspricht dem in Kapitel 5.1.1 beschriebenen Übersichtsmodus. Sobald das System aber bemerkt, dass der Anwender ein falsches Bauteil entfernt oder sehr lange sucht, um eine bestimmte Schraube zu lösen, greift das System ein, indem dem Mechaniker sukzessive mehr Informationen in seinem Display angezeigt werden. Sobald die schwierige Stelle im Ablauf überwunden wurde, kann sich das System durch Reduzierung der Informationsinhalte wieder "zurückziehen".

Aus diesen Ansatzpunkten lässt sich erkennen, dass die Qualität der erstellten Dokumentation maßgeblich von den Eingangsdaten für den Erstellungsprozess abhängt. Je detaillierter diese Informationen sind, umso genauer lässt sich das Produkt virtuell abbilden und dem Anwender eine passende Dokumentation zur Verfügung stellen. Dies wirkt sich unmittelbar auf die Produktqualität und somit auch auf die Kundenzufriedenheit aus.

ANHANG A
EXEMPLARISCHE ANLEITUNGEN

11 61 095 DISA-Verstelleinheit aus- und einbauen/ersetzen

Arbeitsschritt	Hinweis
Zündung ausschalten.	
Designabdeckung ausbauen.	
Motorabdeckung ausbauen.	
Abdeckung Zündspulen links und rechts ausbauen.	
Abschlusswand Aggregateraum Mitte ausbauen.	
Stecker von Drosselklappe entriegeln und abziehen.	
Stecker von Klopfsensor links und rechts entriegeln und abziehen.	
Stecker von Öldruckschalter entriegeln und abziehen.	
Stecker von Thermostat entriegeln und abziehen.	
Stecker von Wassertemperaturgeber entriegeln und abziehen.	
Stecker von Magnetventil-Auslass links und rechts entriegeln und abziehen.	
Stecker von Magnetventil-Einlass links und rechts entriegeln und abziehen.	
Stecker von Tankentlüftungsventil entriegeln und abziehen.	
Stecker von Generator entriegeln und abziehen.	
Stecker von Einspritzrohr links und rechts entriegeln und abziehen.	
Stecker von Valvetronic-Stellmotor links und rechts entriegeln und abziehen.	
Stecker von Auslass-Nockenwellengeber links und rechts entriegeln und abziehen.	
Stecker von Einlass-Nockenwellengeber links und rechts entriegeln und abziehen.	
Stecker von Exzenterwellensensor links und rechts entriegeln und abziehen.	
Stecker von Differenzdrucksensor entriegeln und abziehen.	
Motorkabelbaum aus den Führungen nehmen.	
Verschraubung Motorkabelbaum zum Sammler für Ansaugluft links und rechts lösen.	
Die oben angeführten Arbeiten sind in der Arbeitsposition " Kabelbaum-Teilstück für Motor " beschrieben.	



Einbauort:

Rückseite Sammler für Ansaugluft.

Stecker (1) entriegeln und von der DISA-Verstelleinheit (2) abziehen (DISA = Differenzierte Sauganlage).

Schrauben lösen.

Einbauhinweis:

Schrauben erneuern.

DISA-Verstelleinheit (2) aus dem Sammler für Ansaugluft herausziehen.

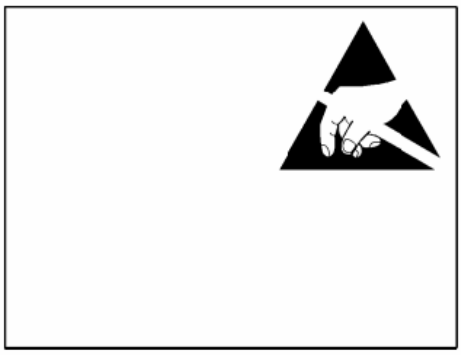
Einbauhinweis:

Antriebswelle an der Verstelleinheit (2) in die richtige Position drehen.

61 31 006 Aufnahme für Schalter der Lenksäule (bis 09/2005) aus- und einbauen (ersetzen)

Warnung!

Räder in Geradeausstellung bringen und während der Reparatur nicht verändern!



Achtung!

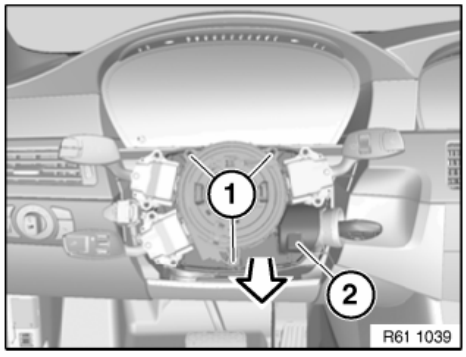
Hinweise zum Schutz vor elektrostatischer Beschädigung (ESD-Schutz) beachten!

Erforderliche Vorarbeiten:

- Lenksäulenverkleidung-Oberteil ausbauen
- Ggf. Deformationselement Verkleidung Lenksäule abnehmen

Hinweis:

Hinweise zum Umgang mit Lichtwellenleitern beachten.



Schrauben (1) lösen.

Aufnahme für Schalter der Lenksäule (2) in Pfeilrichtung zurückziehen.

Dahinter liegende Steckverbindungen trennen und Aufnahme für Schalter der Lenksäule (2) abnehmen.

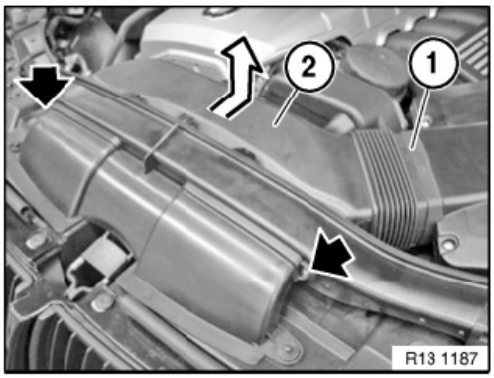
Bei Ersatz:

- Fahrtrichtungs-Abblendschalter ausbauen
- Schalter für Scheibenwischer ausbauen
- Ggf. Schalter für Geschwindigkeitsregler ausbauen

Bei Ersatz:

- Programmierung/Codierung durchführen
- Fahrzeuge ohne Aktivlenkung:
  - Abgleich des Lenkwinkelsensors durchführen!
- Fahrzeuge mit Aktivlenkung:
  - Inbetriebnahme / Justierung Aktivlenkung durchführen!

13 Ansaugkanal ausbauen (N52)

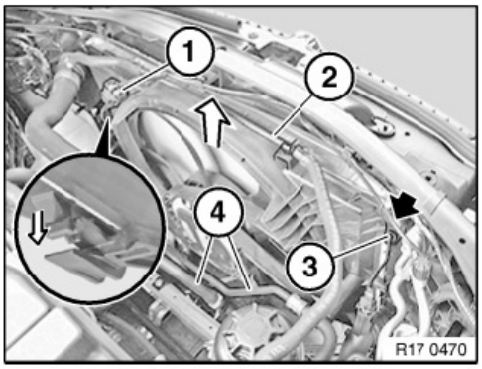


Schrauben lösen.
Ansaugluftschlauch (1) seitlich entriegeln und abziehen.
Ansaugkanal (2) in Pfeilrichtung ausbauen.

17 11 031 Lüfterzarge mit Elektrolüfter aus- und einbauen / ersetzen

Erforderliche Vorarbeiten:

- Fehlerspeicher des DME-Steuergerätes auslesen
- Zündung ausschalten
- Ansaugkanal ausbauen
- **Nur Automatik:**
  Aggregateunterschutz vorn ausbauen



Stecker (1) entriegeln und abziehen.
Leitung (2) von Lüfterzarge ausklippsen.
Kabelband (3) trennen, ggf. Stecker entriegeln und abziehen.
Schraube lösen.
Ölleitungen (4) ausklippsen.
Verrastung in Pfeilrichtung entriegeln.
Lüfterzarge nach oben ausbauen.

Hinweis:
Fehlerspeicher löschen.

ANHANG B
VERGLEICH DER REPARATURANLEITUNGEN

Die nachstehende Tabelle 0.1 zeigt den Vergleich einer Reparaturanleitung über mehrere Baureihen hinweg. Als Beispiel wurde die Anleitung "Himmelbespannung ersetzen (51 44 011)" ausgewählt, da hier eine Komponente des Fahrzeuges aus- und wieder eingebaut wird, welche in den meisten Baureihen und deren Varianten (abgesehen vom Cabrio) vorkommt.

Tabelle 0.1: Vergleich der Anleitung "Himmelbespannung ersetzen"

BMW 3er Coupé (E46)	**BMW 3er Limousine (E90)**	**BMW 5er Limousine (E39)**	**BMW 5er Limousine (E60)**	**BMW 7er Limousine (E65)**	**MINI (R50)**
Sonnen-blenden	Sonnen-blenden	Sonnen-blenden	Sonnen-blenden	Sonnen-blenden	Sonnen-blenden
Gegenlager	Gegenlager	Gegenlager	Gegenlager	Gegenlager	Gegenlager
Haltegriffe	Haltegriffe	Haltegriffe	Haltegriffe	Haltegriffe	Haltegriffe
Verkleidung (A-Säule)	Verkleidung (A-Säule)	Verkleidung (A-Säule)	Verkleidung (A-Säule)	Verkleidung (A-Säule)	Verkleidung (A-Säule)
Verkleidung (B-Säule)	Verkleidung (B-Säule)	Verkleidung (B-Säule)	Verkleidung (B-Säule)	Verkleidung (B-Säule)	Verkleidung (B-Säule)
Verkleidung (C-Säule)	Verkleidung (C-Säule)	Verkleidung (C-Säule)	Verkleidung (C-Säule)	Verkleidung (C-Säule)	Verkleidung (C-Säule)
Decken-leuchte (vorn)	Decken-leuchte (vorn)	Decken-leuchte (vorn)	Decken-leuchte (vorn)	Einsatz-konsole (vorn)	Decken-leuchte
Decken-leuchte (hinten)	Decken-leuchte (hinten)		Decken-leuchte (hinten)	Einsatz-konsole (hinten)	
Vollblende		Blende	Blende Himmel (vorn)	Blende	Blende Himmel (vorn)
Kleiderhaken					
	Spiegel-leuchten	Spiegel-leuchten	Spiegel-leuchten	Spiegel-leuchten	
Verkleidung dritte Bremsleuchte	Verkleidung dritte Bremsleuchte		Verkleidung dritte Bremsleuchte		
		Befestigungs-rahmen	Befestigungs-rahmen		
			Blende Himmel (hinten)		Blende Himmel (hinten)
			Kopfstützen hinten		
	Vordersitz rechts	Rücksitzbank	Rücksitze	Vordersitz links	Vordersitze

BMW 3er Coupé (E46)	**BMW 3er Limousine (E90)**	**BMW 5er Limousine (E39)**	**BMW 5er Limousine (E60)**	**BMW 7er Limousine (E65)**	**MINI (R50)**
		Schiebe-hebedach	Schiebehebe-dach in Service-position	Schiebe-hebedach in Service-position	
Rücken-lehnen der Vordersitze nach hinten stellen	Rücken-lehnen der Vordersitze nach hinten stellen		Rücken-lehnen der Vordersitze nach hinten stellen	Rücken-lehnen der Vordersitze nach hinten stellen	
				Mikrofon	
				Bedienteile der Fond-klimaanlage	
					Rückspiegel innen
					Uhr
					Ultraschall-modul
Spreiznieten	Spreiznieten		Schrauben	Schrauben	Befestigung
Himmel-bespannung	Himmel-bespannung	Himmel-bespannung	Himmel-bespannung	Himmel-bespannung	Himmel-bespannung

Neben den hier dargestellten Fahrzeugen wurden zusätzlich die Reparaturanleitungen des BMW 5er Touring (E61) und des BMW 3er Limousine (E90) in der US Variante untersucht. Eine Darstellung dieser beiden Anleitungen innerhalb der obigen Tabelle ist jedoch nicht notwendig, da diese Anleitungen den entsprechenden Varianten des BMW 5er Limousine (E60) bzw. BMW 3er Limousine (E90) entsprechen.

Das Ziel dieses Vergleiches ist es, die Gemeinsamkeiten in den verschiedenen Dokumenten aufzuzeigen. Die These (2) aus Kapitel 3.2 stützt sich auf diesen Vergleich. Auf dessen Grundlage kann ein entsprechendes Dokumentenmodell abgeleitet werden. Die Abbildung 0.1 zeigt das Dokumentenmodell für die oben beschriebene Reparatur. Dieses Modell dient dem Erstellungsprozess als Urmuster für die Erstellung der instanziierten Anleitungen (vgl. Kapitel 5.1.2)

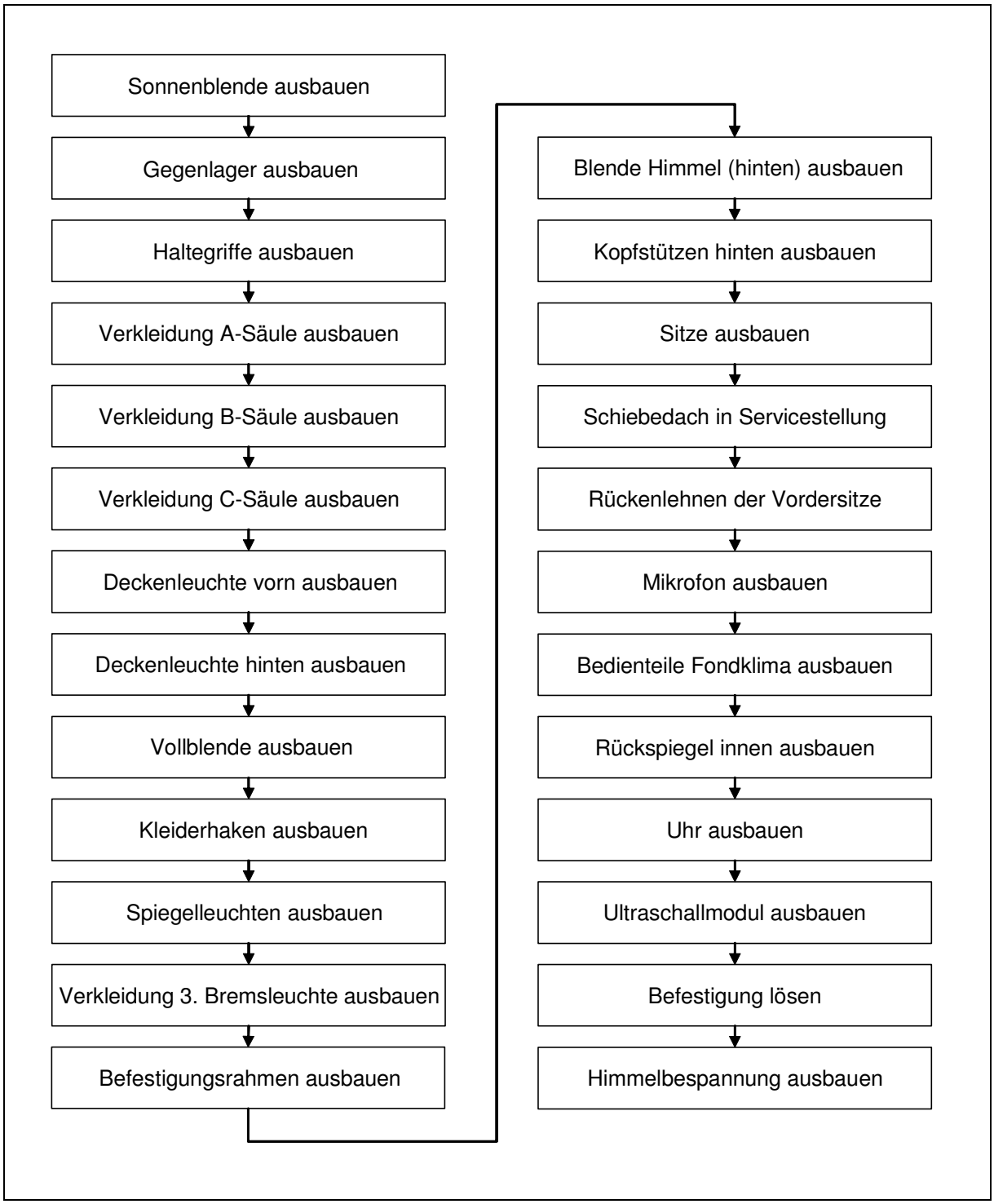


Abbildung 0.1: Urmuster der Reparaturanleitung

ANHANG C
BEGRIFFSDEFINITIONEN

Arbeitsablauf

Ein Arbeitsablauf (engl. "Workflow") umfasst eine vordefinierte Abfolge von Tätigkeiten, um das Ziel der auszuführenden Arbeit zu erreichen.

Augmented Reality

Die Technologie "Augmented Reality (AR)" ist eine innovative Art der Mensch-Maschine-Interaktion mit großem Potenzial zur Unterstützung von industriellen Arbeitsprozessen.

Bei dieser Technologie wird das Sichtfeld des Betrachters mit rechnergenerierten virtuellen Objekten angereichert, so dass Produkt- und Prozessinformationen intuitiv genutzt werden [fri04].

Datenbereitstellung

Unter der Datenbereitstellung ist ein arbeitsvorbereitender Prozess zu verstehen, der alle notwendigen Vorarbeiten für den Erstellungsprozess abarbeitet (vgl. Kapitel 4.4).

Die Datenbereitstellung kann in die folgenden Sub-Prozesse unterteilt werden: Erfassung der Daten, Aufbereitung (insbesondere der Geometriedaten), Attributierung mit Metadaten und Publikation.

Dokumentationsraum

In einem Dokumentationsraum befindet sich eine begrenzte Anzahl von Bauteilen, deren Gemeinsamkeit die lokale Nähe ist. Die Größe eines Dokumentationsraums ist dabei vorrangig abhängig von der Dichte der Bauteile, d.h. je komplexer ein Dokumentationsraum aufgebaut ist, desto kleiner sollen dessen Abmessungen sein. Die Funktion der Komponenten ist für die Einteilung unerheblich.

Ein Dokumentationsraum bildet die Grundlage für die geometrische Repräsentation innerhalb einer Dokumentation. Bei Dokumentationen, die sich über einen größeren Umfang des Produktes erstrecken, können unter Umständen auch mehrere Dokumentationsräume betroffen sind

Dokumentenmodell

In der Literatur beschreibt ein Produktmodell die strukturierte Zusammenfassung aller Daten, die zu einem Produkt in einem Unternehmen vorhanden bzw. zu dessen Beschreibung erforderlich sind [kra99]. In Anlehnung daran soll folgende Definition für ein Produktmodell gelten:

Ein Dokumentenmodell dient zur generischen Beschreibung eines Dokuments bzw. einer Anleitung und unterteilt die Dokumente in logische Grundeinheiten. Diese Kapselung

ermöglicht die Wiederverwendung von Dokumentteilen und ganzen Dokumenten bei der Erstellung neuer Dokumente.

Effektivität Effektivität ist das Verhältnis von erreichtem Ziel zu definiertem Ziel. Das Kriterium für das Vorhandensein von Effektivität ist im Gegensatz zur Effizienz ausschließlich die Frage, ob das definierte Ziel erreicht wurde oder nicht [wik06].

Effizienz Effizienz ist das Verhältnis eines in definierter Qualität vorgegebenen Nutzens zu dem Aufwand, der zur Erreichung des Nutzens nötig ist [wik06].

Erstellungsprozess Das Ergebnis des Erstellungsprozesses ist die fertig gestellte Dokumentation, welche vom Anwender genutzt werden kann. Die vollständige Entwicklung des Erstellungsprozesses für neuartige technische Dokumentationen ist Gegenstand der vorliegenden Dissertation.

Funktionsgruppe In einer funktionalen Gruppen (oder Funktionsgruppe) lässt sich eine begrenzte Anzahl von Bauteilen zusammenfassen, deren Gemeinsamkeit die ausgeführte Funktion ist. Der Einbauort der einzelnen Komponenten ist für eine Funktionsgruppe unerheblich.

Die Funktionsgruppen bilden vorrangig die Grundlage für die Fehlersuche bzw. die Erläuterung der Funktion eines Systems.

Informationseinheit Eine Informationseinheit ist ein modularisierter atomarer Baustein, der z.B. aus einem Text, einer Abbildung, einer Animation oder einem AR-Inhalt bestehen kann.

Metadaten Metadaten bezeichnen Daten, die andere Daten beschreiben, z. B. die Datenbankbeschreibung in einer Datenbank (beschreibt die Bedeutung und Struktur der Primärdatensätze), eine Indextabelle (gibt die Speicheradresse von Daten an) oder eine Metadatei [bro02].

Mixed Reality Umfassender Begriff für alle Formen der Kombination aus Realität und virtuellen Welten (Virtual Continuum [mil94]).

Neuartige Technische Dokumentation Unter neuartigen technischen Dokumentationen sind alle Arten der technischen Dokumentation zu verstehen, welche sich als zusätzlichen Informationsträger die "Bewegung" zu Nutze machen.

Produkt Unter dem Begriff eines komplexen technischen Produkts wird in der vorliegenden Arbeit ein Gegenstand verstanden, der aus mehreren Einzelteilen aufgebaut ist und in Summe eine geforderte Funktion erfüllt.

Signifikant für komplexe Produkte ist dabei die Tatsache, dass die Funktion des Gesamtprodukts aus der Summe von Unterfunktionen der Bauteile bzw. Baugruppen, aus welchen das Produkt aufgebaut ist, entsteht.

Produktdaten Alle Daten, die zur vollständigen Beschreibung eines Produkts dienen [sch02].

Produktstruktur Beschreibung, wie ein Produkt aus einer bestimmten Sicht aus Komponenten zusammengesetzt wird [sch02].

Prozess Nach DIN 66201 ist ein Prozess die Gesamtheit von aufeinander wirkenden Vorgängen in einem System, durch die Materie, Energie oder Information umgeformt, transportiert oder gespeichert werden. Dabei geht es primär um die Verarbeitung und Speicherung von Information, wobei die Abgrenzbarkeit eines Prozesses gegenüber anderen Verarbeitungsvorgängen, die gleichzeitig oder aufeinander folgend ablaufen, kennzeichnend ist [bro02].

Stammdaten Daten, die für eine Sache elementar sind und vor allem langlebig sind. Stammdaten sind außerdem unabhängig von Versionen.

System Für den Begriff "System" existieren eine Vielzahl an Definitionen, allgemein lässt sich sagen, ein System ist ein aus mehreren Teilen zusammengesetztes u. gegliedertes Ganzes [dud04].

Für die Informationstechnologie ist ein System eine größere Einheit, die aus Einzelteilen (Gegenständen, Prozessen, Begriffen etc.) zusammengesetzt ist. Die Einzelkomponenten sind aufeinander abgestimmt, so dass das System in seinen Funktionen mehr ermöglicht als die Summe der Einzelteile. Größere Systeme lassen sich in Teilsysteme geringerer Komplexität untergliedern [bro02].

Technische Anleitung Als technische Anleitung gilt die Teilmenge der technischen Dokumentation, welche den Anwender zu konkreten Handlungen an einem technischen Produkt anleitet [kra05].

Technische Dokumentation Die technische Dokumentation enthält Informationen über ein technisches Produkt. Sie beschreibt den Aufbau, den Nutzen und die Funktionsweise des Produkts [juh02].

Template Ein Template ist eine Vorlage, welche als Erstellungsgrundlage für eine Animation dient. Mit Hilfe von Parametern kann diese Animation an die jeweilige Anwendung angepasst werden. Ein Template ist unabhängig vom zu animierenden Objekt

Virtual Reality Virtuelle Realität.

Vision In Bezug auf Zukünftiges entworfenes Bild [dud04].

Visualisierung Die Visualisierung ist ein unverzichtbarer Bestandteil bei der Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Wissen. Die optische und interaktiv zugängliche Darstellung von Prozessabläufen wird eingesetzt, um die wesentlichen Bestandteile eines Prozesses sowie die Parameter der einzelnen Prozesseinheiten festzuhalten und sie transparent für Interpretation, Analyse und Generierung von Entscheidungen zu machen [tre01].

Wissen Der Begriff "Wissen" bezeichnet die Gesamtheit aller organisierten Informationen und ihrer wechselseitigen Zusammenhänge, welche durch eigene Erfahrungen oder Mitteilungen von außen gewonnen wurden. Das Wissen erlaubt es sinnvoll und bewusst auf Reize zu reagieren bzw. zuverlässige Aussagen zu machen [dud04], [wik06].

Workflow Siehe Arbeitsablauf.

ANHANG D
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AR	Augmented Reality
CAD	Computer Aided Design
DCMI	Dublin Core Meta Initiative
ETK	Elektronischer Teilekatalog
GUI	Graphical User Interface
HMD	Head Mounted Display
ID	Identification
iTMS	integriertes Teilemanagementsystem
MR	Mixed Reality
PDM	Product Data Management
RDF	Resource Description Framework
RFID	Radio Frequency Identification
TIS	Technisches Informationssystem
UML	Unified Modeling Language
VR	Virtual Reality
VRML	Virtual Reality Modeling Language
VVT	Variable Valvetronic (variable Ventilsteuerung)
W3C	World Wide Web Consortium
X3D	Extensible 3D, Nachfolger des VRML Standards
XML	Extensible Markup Language

ANHANG E
ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1: Grobdarstellung des Erstellungsprozesses 4
Abbildung 2.1: Phasen im Produktlebenszyklus und deren technische Dokumente 7
Abbildung 2.2: Leistungsbeschreibung in einem Verkaufsprospekt [bmw05a] 8
Abbildung 2.3: Geräteschreibung einer Pkw-Instrumentenkombination [bmw04b] 8
Abbildung 2.4: Klassische Reparaturanleitung mit Text-/Bildkombination [bmw02] 9
Abbildung 2.5: Technische Zusatzdaten [bmw05a] 9
Abbildung 2.6: Verweise innerhalb einer Betriebsanleitung [bmw04b] 10
Abbildung 2.7: Verweise auf Vorarbeiten innerhalb einer Reparaturanleitung [bmw04a] 10
Abbildung 2.8: Statische Verlinkung der Einzeldokumente 11
Abbildung 2.9: Einstellung der Sitze im BMW 1er, 3er und 5er [bmw04b] 11
Abbildung 2.10: Auszug aus einer heutigen Reparaturanleitung [bmw04a] 12
Abbildung 2.11: Teilschritt aus obiger Reparaturanleitung [bmw04a] 13
Abbildung 2.12: Diskrepanz zwischen benötigtem und vorhandenem Wissen 14
Abbildung 2.13: Zyklus im Arbeitsprozess 15
Abbildung 2.14: Wissenspyramide 15
Abbildung 2.15: Text-/Bildkombination aus einer Betriebsanleitung [bmw04b] 21
Abbildung 2.16: Trainingsumgebung für technisches Personal am Flugzeug [blu03] 22
Abbildung 2.17: Screenshot aus einer VR-basierten Reparaturanleitung 23
Abbildung 2.18: Das Virtual Continuum nach [mil94] 24
Abbildung 2.19: Beispiel für eine Augmented Reality basierte Reparaturanleitung 24
Abbildung 2.20: Phasen im Autorenprozess 26
Abbildung 2.21: Ebenen der Methode "Funktionsdesign" [sch04b] 28
Abbildung 2.22: Vorgehensmodell zur Optimierung von Geschäftsprozessen 33
Abbildung 2.23: Produktstruktur mit Master und Instanzen nach [sch02a] 36
Abbildung 2.24: Graph mit 5 Knoten und 5 Kanten 39
Abbildung 3.1: Schichtenmodell einer neuartigen technischen Dokumentation 44
Abbildung 3.2: Demontageablauf für die Zylinderkopfhaube 47
Abbildung 3.3: Kommunalitäten zwischen Derivaten und Baureihen 48
Abbildung 3.4: Zeitliche Abfolge zweier unterschiedlicher Anleitungen 48
Abbildung 3.5: Darstellung der kausalen Beziehungen 49
Abbildung 3.6: Vereinigung beider Abläufe 50
Abbildung 3.7: Auszug aus dem gesamthaften Dokumentenmodell 50
Abbildung 3.8: Vorgänger in einer Reparaturanleitung [bmw04a] 51
Abbildung 3.9: Arbeitsschritt mit Vor- und Nachbedingung 51
Abbildung 3.10: Sitzeinstellung der Modelle BMW 1er, 3er und 5er [bmw04b] 52
Abbildung 3.11: Generischer Ablauf für den Ausbau des Dachhimmels 52
Abbildung 3.12: Verkettete lineare Liste 53
Abbildung 3.13: Graph mit dessen Repräsentation als verkettete Liste 54
Abbildung 3.14: Erster Fall: Löschen von Anfangsknoten 55
Abbildung 3.15: Zweiter Fall: Löschen eines Knotens und neue Kanten 56
Abbildung 3.16: Dritter Fall: Löschen eines Knotens mit transitiver Abhängigkeit 56
Abbildung 4.1: Unterteilung eines Fahrzeuges in Dokumentationsräume 59
Abbildung 4.2: Funktionale Gruppierung der Bremssystem-Komponenten 60
Abbildung 4.3: Auszug aus den Metadaten eines Bauteils 61
Abbildung 4.4: Metadaten zur Peripherie 62
Abbildung 4.5: Auszug aus den Metadaten eines Werkzeugs 62

Abbildung 4.6: Metadaten einer Ausbausequenz 63
Abbildung 4.7: Ausbauanleitung des VVT-Motors [bmw02] 63
Abbildung 4.8: Anleitung "Servomotor ausbauen" 64
Abbildung 4.9: Untergliederung in atomare Teilschritte 64
Abbildung 4.10: Screenshot aus dem iTMS 66
Abbildung 4.11: Unterteilung der Datenbereitstellung 68
Abbildung 5.1: Ablauf der Dokumentationserstellung 71
Abbildung 5.2: Zuordnung des Auftrags zum Dokumentenmodell 73
Abbildung 5.3: Bestimmung relevanter Abhängigkeiten 73
Abbildung 5.4: Verknüpfung mit der Produktinstanz 74
Abbildung 5.5: Sequenzialisierung der auszuführenden Schritte 75
Abbildung 5.6: Lineare Bewegung der Lüfterzarge nach oben 78
Abbildung 5.7: Drehung zum Öffnen des Öldeckels 79
Abbildung 5.8: Kombination aus Translation und Rotation 79
Abbildung 5.9: Bewegung einer Klappe beim Öffnen 80
Abbildung 5.10: Bedienung des Controllers für das iDrive eines BMW 7er [bmw06] 80
Abbildung 5.11: Einzelbilder der Verdeckkinematik 81
Abbildung 5.12: Sitzeinstellung der Modelle BMW 1er, 3er und 5er [bmw04b] 82
Abbildung 6.1: Schematische Darstellung der Autorenumgebung und Anschlusssysteme 86
Abbildung 6.2: Vorgehensweise zur Erstellung einer Anleitung [mir06] 86
Abbildung 6.3: Adaption auf die Benutzeroberfläche [mir06] 86
Abbildung 6.4: Workflow-Editor mit exemplarischem Arbeitsablauf 87
Abbildung 6.5: Implementierte Autorenumgebung 87
Abbildung 6.6: Die drei Registerkarten des Eigenschaftseditors 88
Abbildung 6.7: Automatisiert erstellter Warnhinweis 89
Abbildung 6.8: Editor für die Parameter eines Templates 89
Abbildung 6.9: Ausgangspunkt der Animation 90
Abbildung 6.10: Bewegung der Lüfterzarge nach oben 90
Abbildung 6.11: Endpunkt der Animation 90
Abbildung 6.12: Werkzeugdatenbank und Repräsentation in XML 91
Abbildung 6.13: Auszug aus einer Reparaturanleitung im XML-Format nach [mir06] 92
Abbildung 6.14: Auszug aus der Datenbasis 93
Abbildung 6.15: Exemplarische Anordnung der Küchenelemente 96
Abbildung 0.1: Urmuster der Reparaturanleitung 108

ANHANG F
TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1: Einteilung in statische und dynamische Medien 19
Tabelle 2.2: Vergleich der Paradigmen nach [mir06] 29
Tabelle 2.3: Anforderungsprofil 42
Tabelle 3.1: Anleitung zum Starten einer Anwendung unter Windows 45
Tabelle 0.1: Vergleich der Anleitung "Himmelbespannung ersetzen" 106

ANHANG G
DEFINITIONSVERZEICHNIS

Definition (1) : Produkt 2
Definition (2) : Technische Dokumentation 6
Definition (3) : Technische Anleitung 7
Definition (4) : Neuartige technische Dokumentation 14
Definition (5) : Prozess 32
Definition (6) : Metadaten 37
Definition (7) : Dokumentationsraum 59
Definition (8) : Funktionsgruppe 60
Definition (9) : Template 76

ANHANG H
LITERATURVERZEICHNIS

[abz04a] ABZ-Online
Automatik ist Trumpf.
http://www.tanner.de/de/abz/2004/abz01_04.pdf,
17. Jahrgang 1/2004, Februar 2004.

[abz04b] ABZ-Online
Prozesskosten in der Technischen Dokumentation senken.
http://www.tanner.de/de/abz/2004/abz03_04.pdf,
17. Jahrgang 3/2004, Juli 2004.

[ami04] AMIRE – Authoring Mixed Reality.
Homepage des Forschungsprojekts AMIRE.
http://www.amire.net, 2004.

[and89] Anderl, Reiner
Integriertes Produktmodell.
Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 84, 1989, 11, pp. 640-644.

[and00] Anderl, Reiner / Trippner, Dietmar (Hrsg.)
STEP: Standard of the Exchange of Product model data –
Eine Einführung in die Entwicklung, Implementierung und industriellen Nutzung der Normenreihe ISO 10303 (STEP).
Teubner, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden, 2000, ISBN 3-5190-6377-8.

[and93] Anderl, Reiner
CAD-Schnittstellen. Methoden und Werkzeuge zur CA-Integration.
Hanser, München, Wien, 1993.

[ans95] Ansari, Daniel
Deriving Procedural and Warning Instructions from Device and Environment Models.
Technical Report, Department of Computer Science, University of Toronto, Canada, 1995.

[ans98] Ansari, Daniel / Hirst, Graeme
Generating Warning Instructions by Planning Accidents and Injuries.
In Proceedings of INLG '98, 1998, Ontario/Canada, pp.118-127.

[art06] ARTESAS
Homepage des Forschungsprojekts ARTESAS.
http://www.artesas.de, 2006.

[arv03] ARVIKA
Homepage des Forschungsprojekts ARVIKA.
http://www.arvika.de, 2003.

[aus62] Austin, John L.
How to Do Things with Words.
Harvard University Press, Cambridge, Massachussets, USA, 1962.

[azu95] Azuma, Ronald T.
A Survey of Augmented Reality.
In Proceedings of SIGGRAPH 1995, August 1995, pp.1-38.

[bal97] Ballstaedt, Steffen-Peter
Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial.
ISBN 3-621-27381-6, Psychologie Verlags Union, Weinheim, 1997.

[bar97] Barth, H.
DiDoLog – A system for developing and automatically generating guaranteed consistent complete user manuals for interactive systems.
RVS-Demo-01, http://www.rvs.uni-bielefeld.de/~ihbarth/DiDoLog.html, 1997.

[ber97] Berners-Lee, Tim
Metadata Architecture.
http://www.w3.org/DesignIssues/Metadata.html, 1997

[ber02] Berners-Lee, Tim / Miller, Eric
The Semantic Web lifts off.
ERCIM News No. 51, Oct. 2002, pp. 9-11.

[bis92] Bishop, Gary / Fuchs, Henry
Research in Virtual Environments.
Computer Graphics, Vol. 26, No. 3, 1992, pp.153-177.

[bli99] Blien, Ralf
Online-CAD-Lexikon.
http://www.blien.de/ralf/cad/index.htm, November 1999.

[blu02] Blue, Russell S. / et. al.
An Automated Approach and Virtual Environment for Generating Maintenance Instructions.
In Proceedings of CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, Minneapolis, Minnesota, USA, 2002, pp. 494-495.

[blu03] Bluemel, Eberhard / Hintze, Axel / Schulz, Torsten /
Schumann, Marco / Stuering, Stefan
Virtual Environments for the Training of Maintenance and Service Tasks.
In Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 2003,
New Orleans/Lousiana, USA, pp.2001-2007.

[blu06] BlueJ
BlueJ - The interactive Java environment.
http://www.bluej.org, 2006.

[bmw02] BMW Group
Verstellmotor für Exzenterwelle links aus- und einbauen / ersetzen.
Auszug aus der Reparaturanleitung für den Motor N62, 11 37 022, 2002.

[bmw04a] BMW Group
Verstellmotor für Exzenterwelle aus- und einbauen / ersetzen.
Auszug aus der Reparaturanleitung für den Motor N52, 11 37 020, 2004.

[bmw04b] BMW Group
Betriebsanleitung zum Fahrzeug.
Betriebsanleitung zum E90 auf Basis des 325i, 01 40 0 159 590, 2004.

[bmw04c] BMW Group
Betriebsanleitung zum Fahrzeug.
Betriebsanleitung zum BMW 3er Cabrio (E46/C), 01 40 0 158 037, 2004.

[bmw05a] BMW Group
Die neue BMW 3er Limousine.
Produktkatalog zum E90, 2005.

[bmw05b] BMW Group
Techniklexikon.
http://www.bmw.de/de/faszination/techniklexikon/index.html, 2005.

[bmw05c] BMW Group
Himmelbespannung (mit Schiebehebedach) aus- und einbauen / ersetzen.
Reparaturanleitung, WebTIS, 51 44 011, 2005.

[bmw06] BMW Group
Betriebsanleitung zum Fahrzeug.
Betriebsanleitung zum E65/E66, 01 40 0 012 268, 2006.

[bro02] Brockhaus Fachlexikon
Der Brockhaus der Computer und Informationstechnologie.
ISBN 3-7653-0251-1, Brockhaus Verlag, Mannheim, 2002.

[bun89] Bundesministerium der Justiz
Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte (Produkthaftungsgesetz).
BGBl I 1989, 2198, FNA 400-8, 15. Dezember 1989
Stand: Zuletzt geändert durch Art. 9 Abs. 3 G v. 19. 7.2002 I 2674
http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/prodhaftg/

[cas02] Casares, Juan / Long, A. Chris / Myers, Brad A. / Bhatnagar, Rishi / Stevens, Scott M. / Dabbish, Laura / Yocum, Dan / Corbett, Albert
Simplifying Video Editing Using Metadata.
In Proceedings of ACM DIS'02, 2002, London / England, pp. 157-166.

[cau92] Caudell, Thomas P. / Mizell, David W.
Augmented reality: An application of head-ups display technology to manual manufacturing processes.
Proceedings of Hawaii International Conference on System Sciences, Vol II, pp. 659-669, 1992.

[cla94] Clark, John / Holton, Allan
Graphentheorie: Grundlagen und Anwendungen.
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg-Berlin-Oxford, 1994.

[con00] Conway, Matthew / et. al.
Alice: Lessons Learned from Building a 3D System for Novices.
In Proceedings of the Conference on Human Factors in Computer Systems (CHI '00), 2000, pp. 486-493.

[cri02] Critical Reach AG (Hrsg.)
Functional White Paper.
2002.

[cur98] Curtis, Dan / Mizell, David / et al.
Several Devils in the Details: Making an AR App Work in the Airplane Factory.
IWAR 1998, 1st International Workshop on Augmented Reality.

[dac04] Dachselt, Raimund
Eine deklarative Komponentenarchitektur und Integrationsbausteine für dreidimensionale multimediale Anwendungen.
Der Andere Verlag, Tönning, ISBN 3-89959-271-9, 2004.
Zugl.: Dresden, TU, Diss., 2004.

[dae02] Däßler, Rolf
Das Einstiegsseminar VRML - 3D-Welten im Internet.
verlag moderne industrie Buch AG & Co. KG, Landsberg, 1.Auflage, 2002.

[dcm05] Dublin Core Meta Initiative.
Homepage.
http://dublincore.org/, 2005.

[doe02] Dörner, Ralf / Geiger, Christian / Haller, Michael / Paelke, Volker
Authoring Mixed Reality. A Component and Framework-Based Approach.
First International Workshop on Entertainment Computing (IWEC 2002), Makuhari, Chiba, Japan, 2002.

[dud04] Dudenredaktion (Hrsg.)
Duden – Die deutsche Rechtschreibung.
23. Auflage, ISBN 3-411-70923-5.
Dudenverlag Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich 2004.

[fei93] Feiner, Steven / MacIntyre, Blair / et al.
Knowledge-based Augmented Reality.
Communications of the ACM (CACM), Vol.36, No.7, pp.53-62, 1993.

[fig01] Figl, Michael / Birkfellner, Wolfgang / et al.
Current Status of the Varioscope AR, a Head-Mounted Operating Microscope for Computer-Aided Surgery.
4th International Symposium on Augmented Reality (ISAR 2001),
29-30 October 2001, New York, NY, USA, p. 20-29.

[fio02] Fiorentino, Michele / Amicis, Raffaele de / et al.
Spacedesign: A Mixed Reality Workspace for Aesthetic Industrial Design.
In Proceedings of ISMAR 2002 – International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 86-94, 2002.

[fis03] Fischer, Franz / Scheibeler, Alexander A.W.
Handbuch Prozessmanagement.
Carl Hanser Verlag München Wien, 2003, ISBN 3-446-21925-0.

[fre03] Freydank, Elisabeth
The MAVA Approach – Multimedia Authoring in Higher Education.
In Proceeding of the Sixth International Conference on Electronic Theses and Dissertations, Berlin, 2003, pp.200-203.

[fri04] Friedrich, Wolfgang (Hrsg.)
ARVIKA – Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service.
Publicis, Erlangen, 2004, ISBN 3-89578-239-4.

[gue03] Güven, Sinem / Feiner, Steven
Authoring 3D Hypermedia for Wearable Augmented and Virtual Realtiy.
In Proceedings of the Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISCW '03), 2003.

[hab94] Haberfellner, Reinhard / Nagel, Peter / Becker, Mario / Büchel, Alfred / von Massow, Heinrich
Systems Engineering, Methodik und Praxis.
ISBN 3-85743-973-4, 8. Aufl., Verlag Industr. Organisation Zürich, 1994.

[hai04] Hailey, David E.
A Next Generation of Digital Genres:
Expanding Documentation into Animation and Virtual Reality.
In Proceedings of the 22nd annual international conference on Design of communication (SIGDOC), 2004, Memphis, Tennessee, USA, pp. 19-26.

[han02] Handschuh, Siegfried / Staab, Steffen
Authoring and Annotation of Web Pages in CREAM.
In Proceedings of ACM WWW '02, 2002, Honolulu, Hawaii, USA, pp.462-473.

[han05] Hansen, Hans Robert / Neumann, Gustaf
Wirtschaftsinformatik 1
9. Auflage, ISBN 3-8252-2670-0, 2005,
Lucius & Lucius Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart.

[har02] Hartmann, K. / Strothotte, T.
Spreading activation approach to text illustration.
In Proceedings of the 2nd International Symposium on Smart Graphics, Hawthorne, NY, 2002, pp.39-46.

[hau99] Hauser, Jürgen
Realization of an Extensible Multimedia Document Model.
In Proceedings of Eurographics Multimedia '99, Sept. 1999, pp.113-122.

[ike05] IKEA Deutschland
IKEA Küchenplaner.
Version 2006:2, 13.09.05,
http://www.ikea.com/ms/de_DE/rooms_ideas/kitchen/download.html

[ima04] ImagExpo GmbH
Homepage der ImagExpo GmbH.
http://www.imagexpo.de, Stand 19. August 2004.

[iso94] International Organization for Standardization
ISO 10303-11: EXPRESS Language Reference Manual
1994.

[iso04] International Organization for Standardization
Homepage der ISO.
http://www.iso.org, Stand 13. August 2004.

[jec04] Jeckle, Mario
UML auf gut Deutsch.
http://www.jeckle.de/uml.de/, Stand 07. Juni 2004.

[joe06] Jörg, Jochen / Koschek, Holger
Flexible Bauteile – Technische Dokumentation: Stand der Dinge.
In iX – Magazin für professionelle Informationstechnik, Heise Zeitschriftenverlag, Oktober 2006, pp.98-102.

[juh02] Juhl, Dietrich
Technische Dokumentation.
ISBN 3-540-43127-6, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2002.

[kno05] Knoepfle, Christian / Weidenhausen, Jens / Chauvigné, Laurent / Stock, Ingo
Template based Authoring for AR based Service Scenarios.
In Proceedings of IEEE VR 2005, Bonn, Germany, pp.249-252.

[knu81] Knuth, Donald E.
The Art of Computer Programming.
Addison-Wesley Professional, 1981.

[koe96] Kölling, Michael / Rosenberg, John
Blue - A Language for Teaching Object-Oriented Programming.
In Proceedings of 27th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education, ACM, Philadelphia, Pennsylvania, March 1996, pp.190-194.

[kot89] Kotler, Philip
From Mass Marketing to Mass Customization.
Planning Review 17(5), 1989, pp.10-13.

[kra99] Krause, Frank-Lothar
Wissensverarbeitung für die rechnergestützte Produktgestaltung.
Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung (ZwF) 85, 1990, 3, pp.146-150.

[kra05] Krause, Michael
Technische Anleitungen, Handlungstheorie und Qualitätskriterien.
Arbeitsmaterial zum Seminar "Technische Anleitungen", Universität Paderborn, Sommersemester 2005.

[kru93] Krueger, W.
Virtual Reality – Anwendungen in Wissenschaft, Technik und Medizin.
Informationstechnik und Techn. Informatik, Vol. 35, No.3, 1993, pp.31-37.

[las99] Lassila, Ora / Swick, Ralph R.
Resource Description Framework (RDF): Model and Syntax Specification.
W3C Recommendation, World Wide Web Consortium, 1999.
http://www.w3.org/TR/1999/REC-rdf-syntax-19990222/

[led05] Ledermann, Florian / Schmalstieg, Dieter
APRIL: A high-level Framework for Creating Augmented Reality Presentations.
In Proceedings of IEEE VR 2005, Bonn, Germany, pp.187-194.

[lie04] Liese, Harald
Wissensbasierte 3D-CAD Repräsentation.
Shaker, Aachen, 2004, ISBN 3-8322-2363-0.
Zugl.: Darmstadt, TU, Diss., 2003.

[lie05] Liebig, Thorsten
Wissensmodellierung und wissensbasierte Systeme.
Skript zur Vorlesung im Hauptstudium, Universität Ulm, Abt. Künstliche Intelligenz, Sommersemester 2005.

[mac86] Mackinlay, Jock
Automating the Design of Graphical Presentations of Relational Information.
ACM Transactions on Graphics, Vol. 5, No. 2, 1986, pp.110-141.

[mac03] MacIntyre, Blair / Gandy, Maribeth / Bolter, Jay / Dow, Steven / Hannigan, Brendan
DART: The Designer's Augmented Reality Toolkit.
In Proceedings of the Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '03), 2003.

[mel86] Mello, Luiz S. Homem de / Sanderson, Arthur C.
AND / OR Graph Representation of Assembly Plans.
Technical Report, Department of Electrical and Computer Engineering, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, CMU-RI-TR-86-8, 1986.

[mer01] Mercer Management Consulting
Automobiltechnologie 2010: Technologische Veränderungen im Automobil und ihre Konsequenzen für Hersteller, Zulieferer und Ausrüster.
Eine Studie der HypoVereinsbank und Mercer Management Consulting, 2001.

[mil94] Milgram, Paul / Kishino, Fumio
A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays.
IEICE Transactions on Information Systems, Vol E77-D, 1994.

[min00] Mintert, Stefan / Brehme, Henning
XML in der Praxis.
Addison-Wesley, 2000, ISBN 3-8273-1636-7.

[mir06] Mirbeth, Felix
Konzeption und Entwicklung eines Autorensystems zur Erstellung von Diagnose- und Reparaturanleitungen.
Diplomarbeit, Universität Ulm, Abt. Medieninformatik, 2006.

[miz01] Mizell, David
Augmented Reality Applications in Aerospace.
Proceedings of ISAR 2001, The Second IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, New York, NY, 2001.

[neu98] Neumann, Ulrich / Majoros, Anthony
Cognitive, Performance, and Systems Issues for Augmented Reality Applications in Manufacturing and Maintenance.
In Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium, 1998.

[nov05] Novick, David G. / Lowe, Brian
Co-Generation of Text and Graphics.
In Proceedings of the 23rd International Conference on Design of Communication, SIGDOC '05, Coventry, UK, 2005, pp. 6-11.

[pah05] Pahl, Gerhard / Beitz, Wolfgang / Feldhusen, Jörg / Grote, K.-H.
Konstruktionslehre.
Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung.
6. Aufl., 2005, ISBN 3-540-22048-8.

[par98] Partsch, Helmuth
Requirements-Engineering systematisch.
Springer Verlag, Berlin, 1998, ISBN 3540643915.

[par05] Partsch, Helmuth
Skript zur Vorlesung "Softwaretechnik".
Abteilung Programmiermethodik und Compilerbau, Universität Ulm,
Sommersemester 2005.

[pil04] Pilone, Dan
UML, kurz & gut.
ISBN 3-89721-263-3, O'Reilly Verlag GmbH & Co.KG, 2004.

[pel96] Pelke, Daniel
Das "Information Warehouse".
Tekom nachrichten, 18. Jahrgang, 5/1996, S.12.

[pet62] Petri, Carl Adam
Kommunikation mit Automaten.
Rhein.-Westf. Institut für Instrumentelle Mathematik an der Universität Bonn,
Dissertation, Bonn, 1962.

[pro99] Probst, Gilbert / Raub, Steffen / Romhardt, Kai
Wissen managen: wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen.
3. Auflage, Frankfurt am Main: Frankfurter Allg. Zeitung für Deutschland,
Wiesbaden: Gabler, 1999, ISBN 3-409-39317-X.

[omg04] Object Management Group
Homepage der OMG.
http://www.omg.org, Stand 13. August 2004.

[rei98] Reiners, Dirk / Stricker, Didier / et al.
Augmented Reality for Construction Tasks: Door lock Assembly.
IWAR 1998 – 1st International Workshop on Augmented Reality,
San Francisco, 1998.

[rei03] Reichert, Manfred / Dadam Peter
Workflow-Management-Systeme.
Skript zur gleichnamigen Vorlesung, Wintersemester 2003/2004, Uni Ulm.

[rum04] Rumbaugh, James / Jacobson, Ivar / Booch, Grady
The Unified Modeling Language Reference Manual.
Addison-Wesley, 2004, ISBN 0-3212-4562-8.

[saa03] Saad, Alexandre
Prototyping bei der BMW Car IT GmbH
JavaSPEKTRUM, SIGS-DATACOM GmbH, Troisdorf, pp. 49-53, 2003.

[sch00a] Schöning, Uwe
Boolesche Funktionen, Logik, Grammatiken und Automaten.
Vorlesungsskript, Universität Ulm, Abteilung Theoretische Informatik, 2000.

[sch00b] Schöning, Uwe / Torán, Jacobo
Berechenbarkeit und Komplexität.
Vorlesungsskript, Universität Ulm, Abteilung Theoretische Informatik, 2000.

[sch02a] Schichtel, Markus
Produktdatenmodellierung in der Praxis.
Hanser, München, Wien, 2002, ISBN 3-446-21857-2.

[sch02b] Schwald, Bernd / Seibert, Helmut / Weller, Tanja
A Flexible Tracking Concept Applied to Medical Scenarios Using an AR Window.
Proceedings of ISMAR 2002 – International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 261-262, 2002.

[sch03] Schwald, Bernd / Laval, Blandine de
An Augmented Reality System for Training and Assistance to Maintenance in Industrial Context.
Journal of WSCG, Vol.11, No.1, 2003, ISSN 1213-6972.

[sch04a] Schenk, Michael / Tegtmeier, André / et al.
Augmented Reality – Anwendungstechnologie für Montage/Demontage-Prozesse in der Automobilindustrie.
3. Paderborner Workshop, AR/VR in der Produktentstehung, 2004.

[sch04b] Schäflein-Armbruster, Robert
Planen, Strukturieren, Standardisieren mit Funktionsdesign.
Skript zum DokuNord-Workshop, Hamburg, 2004.

[sha97] Sharma, Rajeev / Molineros, Jose M.
Computer Vision based Augmented Reality for guiding manual assembly.
Teleoperators and Virtual Environments, MIT Press, Vol.6, No.3, pp.292-317, 1997.

[sim05] SIMILE Project
Projekt-Homepage.
http://simile.mit.edu, Stand 29. August 2005.

[siw05] Siwon, Peter
UML: Schritt für Schritt.
Elektronik Praxis, Vogel Verlag, Würzburg, Nr. 15, 2005.

[spu97] Spur, Günter / Krause, Frank-Lothar
Das virtuelle Produkt: Management in der CAD-Technik.
Hanser, München, Wien, 1997, ISBN 3-446-19176-3.

[sta05] Stappen, Hermann-Josef
Ketten-Reaktion.
In auto motor und sport, Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG, Stuttgart, Ausgabe 20/2005, p.144.

[ste99] Steinmeier, Eckhard
Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der PKW-Entwicklung.
Shaker, Aachen, 1999, ISBN 3-8265-3731-9.
Zugl.: München, TU, Diss., 1998.

[ste04] Stephens, R. Todd
Utilizing Metadata as Knowledge Tool.
In Proceedings of IEEE IPCC2004, Oct. 2004, USA, pp. 55-60.

[sto03] Stock, Ingo
Einbindung von Konstruktionsdaten (Metainformationen) in ein Autorensystem zur Erstellung von Augmented Reality basierten Reparaturanleitungen für BMW Werkstätten.
Diplomarbeit, Universität Ulm, Abt. Medieninformatik, 2003.

[sto05a] Stock, Ingo / Weber, Michael / Steinmeier, Eckhard
Metadata based Authoring for Technical Documentation.
In Proceedings of the 23rd International Conference on Design of Communication, SIGDOC '05, Coventry, UK, 2005, pp. 60-67.

[sto05b] Störrle, Harald
UML 2 für Studenten.
Pearson Studium, München, 2005, ISBN 3-8273-7143-0.

[sto06] Stock, Ingo / Weber, Michael
Authoring Technical Documentation Using a Generic Document Model.
In Proceedings of the 24th ACM International Conference on Design of Communication, SIGDOC '06, Myrtle Beach, SC, USA, 2006, pp.172-179.

[sut65] Sutherland, Ivan
The Ultimate Display.
In: Proceedings of IFIP Information Processing Conference, 1965.
Elsevier Publisher, Amsterdam 1965, pp.506-508.

[tek06] Homepage der tekom
Deutscher Fachverband für Technische Kommunikation und Informations-entwicklung.
http://www.tekom.de, 2006.

[tre01] Trendbüro (Hrsg.)
Duden, Wörterbuch der New Economy.
ISBN 341171171X, Dudenverlag Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich 2001.

[tpc05] TPCA (Toyota, Peugeot, Citroën Automobile)
http://www.tpca-cz.com, 2005.

[tur96] Turau, Volker
Algorithmische Graphentheorie
Addison-Wesley Verlag, Bonn, ISBN 3-89319-938-1, 1996.

[ulr91] Ulrich, Hans / Probst, Gilbert J. B.
Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln.
ISBN 3258045003, 3. Aufl., Paul Haupt Verlag, Bern, 1991.

[usc96] Uschold, Mike / Grüninger, Michael
Ontologies: principles, methods, and applications.
Knowledge Engineering Review, Vol.11, No.2, 1996, pp. 93-155.

[val04] Valnion, Bernhard D.
Neue Dokumentationslösung bei Dürr Paint System.
Zeitschrift CADplus, Business + Engineering, pp.42-44, 2/2004.

[vdi01] VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb (Hrsg.)
VDI-Richtlinie 2246 – Konstruieren instandhaltungsgerechter, technischer Erzeugnisse.
VDI-Handbuch Betriebstechnik, Teil 4, 2001.

[vla02] Vlahakis, Vassilios / Ioannidis, Nikolaos / et al.
Archeoguide: An Augmented Reality Guide for Archaeological Sites.
IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.22, No.5, 2002, p.52-60.

[w3c04a] World Wide Web Consortium
Extensible Markup Language (XML).
http://www.w3.org/XML/, Stand 13. August 2004.

[w3c04b] World Wide Web Consortium
Standard Generalized Markup Language (SGML).
http://www.w3.org/MarkUp/SGML/, Stand 13. August 2004.

[wet03] Wettstein, Claudia
Prozesskostenrechnung zur Erstellung von Reparaturanleitungen im Servicebereich eines deutschen Automobilherstellers.
Bachelor-Thesis, FH Karlsruhe, FB Wirtschaftswissenschaften, 2003.

[wik06] Wikipedia
Die freie Enzyklopädie.
http://de.wikipedia.org/, 2006.

[zau03] Zauner, Jürgen / Haller, Michael / Brandl, Alexander / Hartmann, Werner
Authoring of a Mixed Reality Assembly Instructor for Hierarchical Structures.
In Proceedings of ISMAR 2003, Tokyo/Japan, 2003, pp. 237-246.